Multidisciplinas de la Ingeniería

Vol. 14, No. 24. Noviembre 2026 – Abril 2027
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
M.C. Arturo Del Ángel Ramírez
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
Ing. José Manuel Sánchez Gutiérrez
Edición de estilo y formato
Ing. Debanhi Astrid Roque Campos

Multidisciplinas de la Ingeniería, Vol. 14, No. 24. Noviembre 2026 – Abril 2027. 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: José Manuel Sánchez Gutiérrez, Av. Pedro de Alba S/N. Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L., México. Fecha de última actualización: 01 de noviembre 2026.

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.

Impacto del perfil académico y talento femenino en una dependencia de educación superior en ingeniería.

Págs. 01 – 10

La influencia de la inteligencia artificial en el desarrollo de los empleos del futuro.

Págs. 11 – 18

Reducción de horas extra durante los preparativos del inventario anual.

Págs. 19 – 26

Madurez sostenible habilitada por IoT en manufactura mexicana hacia Industria 5.0

Págs. 27 – 37

Validación industrial de un sistema poka-yoke para prevenir defectos en componentes metálicos estampados

Págs. 38 – 50

El cine-foro como motor de transformación cultural en la formación de ingenieros

Págs. 51 – 60

Ingeniería de requerimientos para la gestión de reactivos y materiales de laboratorios universitarios

Págs. 61 – 77

Educación ambiental como proceso formativo integral para la transición hacia sociedades sustentables

Págs. 78 – 86

Estereotipos de género y autodesvalorización femenina, una perspectiva socioeducativa para la conciencia ambiental y la protección de los colibríes

Págs. 87 – 97

Valorización de fibras celulósicas provenientes de papel impreso con potencial aplicación en membranas biomédicas

Págs. 98 – 109

Impacto del perfil académico y talento femenino en una dependencia de educación superior en ingeniería

Impact of academic profile and female talent in a higher education engineering institution

Sammara Elizabeth Bustos Arista [1]
Arturo Torres Bugdud [2]
María Blanca Elizabeth Palomares Ruiz [3]
Jazmin Yamileth Reyes Luevano [4]

RESUMEN

La participación de las mujeres en la educación superior en ingeniería ha mostrado grandes avances; no obstante, el análisis de su perfil académico continúa siendo fundamental para comprender el desarrollo profesional y el acceso a espacios de toma de decisiones. El presente estudio tiene como objetivo analizar el perfil académico y la participación administrativa del personal docente femenino en una dependencia de educación superior en ingeniería. Se desarrolló un estudio cuantitativo con alcance descriptivo, utilizando datos institucionales oficiales.

La población estuvo conformada por docentes, considerando variables como nivel de estudios, antigüedad y participación en cargos administrativos. Los resultados evidencian una estructura académica femenina consolidada principalmente en los niveles de maestría y doctorado, así como una presencia significativa en funciones administrativas. Se concluye que la participación femenina fortalece la estructura institucional y contribuye al desarrollo de la educación en ingeniería, aunque persisten retos en la consolidación de trayectorias académicas en etapas iniciales.

PALABRAS CLAVES: mujeres, ingeniería, educación superior, perfil académico.

Fecha de recepción: 02 de marzo, 2026.

Fecha de aceptación: 29 de abril, 2026.

[1] Catedrática de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, sammara.bustosar@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0001-5181-7780
[2] Catedrático de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, arturo.torresbg@uanl.edu.mx, https://orcid.org/00009-00006-1550-2101
[3] Catedrática de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, maria.palomaresrz@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-4079-6969
[4] Estudiante de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México jazmin.reyeslvn@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0006-1759-939X

CC BY NC ND

ABSTRACT

Women's participation in higher education in engineering has shown significant progress; however, examining their academic profile remains essential to understanding their professional development and access to decision-making positions. This study aimed to analyze the academic profile and administrative participation of female faculty members at a higher education institution in engineering. A quantitative study with a descriptive scope was conducted using official institutional data.

The population consisted of faculty members, considering variables such as level of education, length of service, and participation in administrative positions. The results indicate a consolidated female academic structure, primarily at the master's and doctoral levels, as well as a substantial presence in administrative roles. It is concluded that female participation strengthens the institutional structure and contributes to the development of engineering education; however, challenges remain in consolidating academic trajectories at the early stages.

KEYWORDS: women, Engineering, Higher education, Academic profile.

ANTECEDENTES

La participación de las mujeres en la educación superior ha experimentado un crecimiento sostenido durante las últimas décadas, particularmente en instituciones públicas de educación superior en México. Este avance ha permitido una mayor presencia femenina en funciones docentes, de investigación, gestión académica y administración universitaria. No obstante, en áreas del conocimiento tradicionalmente masculinizadas, como la ingeniería, el análisis de la participación femenina continúa siendo un tema relevante para comprender las dinámicas de inclusión, desarrollo profesional y acceso a posiciones de liderazgo académico. Diversos estudios señalan que la cultura científica y tecnológica ha estado históricamente influenciada por modelos androcéntricos que han limitado la visibilidad de las contribuciones femeninas (Espino, et. al. 2015)

Las Facultades de Ingeniería representan espacios estratégicos para el estudio de la equidad de género, debido a la histórica subrepresentación femenina en estas disciplinas, así como en las áreas de STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) que aún no se observan. Sin embargo, la participación, formación y desarrollo profesional de las mujeres en las carreras STEM tiene un impacto significativo, puesto que impulsa la innovación y la diversidad de perspectivas, enriquece los procesos académicos y contribuye a transformar entornos históricamente masculinizados. Además, fortalece el desarrollo social y económico al ampliar el talento disponible y generar referentes que inspiran a nuevas generaciones a incursionar en estos campos.

En este contexto, la equidad de género en la educación superior se ha abordado desde diversas perspectivas teóricas vinculadas con la inclusión, la igualdad de oportunidades y el desarrollo profesional en los entornos académicos.

El concepto de perfil académico se refiere al conjunto de características profesionales, formativas y laborales que definen la trayectoria de un docente dentro de una institución de educación superior. Ese perfil incluye variables como el grado académico, la categoría laboral, la experiencia docente, la producción académica y la participación en actividades de gestión universitaria.

CC BY NC ND

De acuerdo con la literatura sobre desarrollo académico universitario, el grado de formación representa uno de los factores más relevantes para la consolidación profesional del personal docente, ya que influye en la obtención de plazas de tiempo completo, el acceso a estímulos académicos y la participación en cuerpos colegiados y puestos de liderazgo institucional.

Desde esta perspectiva, el análisis del perfil académico del personal docente femenino permite identificar elementos asociados a la formación profesional, la estabilidad laboral, la antigüedad institucional y la participación en cargos administrativos, los cuales resultan fundamentales para comprender la consolidación de las trayectorias académicas de las mujeres en las dependencias de educación superior, particularmente en el ámbito de la ingeniería.

En el contexto institucional de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME), se han impulsado acciones orientadas al reconocimiento y fortalecimiento del talento femenino. Entre ellas destaca la instauración de la medalla “Ing. Alicia Margarita Torres Villanueva”, otorgada anualmente a mujeres que sobresalen en ámbitos como la docencia, la investigación, la responsabilidad social y el deporte (FIME, 2025). Asimismo, en la dependencia opera el Comité de la Mujer, integrado por profesoras, investigadoras, personal administrativo y estudiantes, cuyo objetivo es promover iniciativas que favorezcan el crecimiento, la participación y el fortalecimiento del talento femenino en la comunidad académica (FIME, s.f.).

Estas acciones se articulan con los procesos de institucionalización de la equidad de género en la educación superior, donde la participación activa de las mujeres en la gestión universitaria contribuye a diversificar la toma de decisiones, fortalecer la gobernanza institucional y consolidar entornos laborales más inclusivos.

Evolución de la mujer en la ingeniería

A lo largo del siglo XX comenzó a visibilizarse la participación de las mujeres en las carreras de ingeniería; sin embargo, el acceso a la educación superior no era igualitario. No todas tenían la oportunidad de estudiar debido a las limitaciones sociales, culturales y legales de la época. En México, un momento clave fue 1953, año en que las mujeres obtuvieron el derecho al voto, lo cual representó un avance significativo en el reconocimiento de sus derechos y favoreció, progresivamente, su incorporación a distintos ámbitos, entre ellos la educación superior. De acuerdo con Estrada y Hernández en su revista de “La mujer en la Ingeniera Mexicana” menciona que en la etapa posterior a la Segunda Guerra Mundial, especialmente en la segunda mitad del siglo XX, las universidades comenzaron a abrir sus puertas a sectores que anteriormente tenían un acceso limitado, entre ellos las mujeres. A pesar de este avance en términos generales, la incorporación femenina no fue igual en todas las áreas académicas. Las carreras relacionadas con la Ingeniería y la Tecnología continuaron mostrando una marcada desigualdad, pues hacia 1980 las mujeres representaban solo el 11% del total de estudiantes en dichos campos, lo que pone en evidencia la brecha de género que aún predominaba (Estrada y Hernández, 2022).

Con el paso del tiempo, esta situación ha ido transformándose. La sociedad, el contexto educativo y las oportunidades profesionales han evolucionado, permitiendo una mayor presencia femenina en áreas tradicionalmente masculinizadas. Actualmente, muchas mujeres ingenieras son reconocidas a nivel mundial por sus importantes aportaciones, descubrimientos y logros, consolidando así su papel fundamental en el desarrollo científico y tecnológico.

Participación y logros recientes de las mujeres en FIME

Durante el periodo 2020–2025, las mujeres de la FIME han destacado en los ámbitos académico, científico, deportivo e institucional. Estudiantes obtuvieron menciones honoríficas, promedios

CC BY NC ND

sobresalientes y reconocimientos nacionales como Mejores Egresados de Ingeniería otorgados por la ANFEI.

En investigación, académicas de la Facultad obtuvieron el Premio de Investigación UANL, participaron en organismos como la Academia Mexicana de Ciencias y la Academia de Ingeniería de México, y fortalecieron la productividad científica institucional.

Asimismo, profesoras obtuvieron el Reconocimiento PRODEP, certificaciones e iniciativas de internacionalización mediante movilidad académica. En el ámbito deportivo, estudiantes representaron a la institución en competencias nacionales e internacionales.

La Facultad ha impulsado programas de inclusión y vocaciones científicas como 'Mujeres en la Ciencia', reforzando la equidad de género y el desarrollo profesional femenino (FIME, Informes anuales de la Dirección, 2020-2025).

Preguntas de investigación:

1. ¿Qué rangos de edad predominan en cada nivel de formación académica del personal docente femenino?
2. ¿Cuál es la participación del personal femenino en cargos administrativos según su nivel de formación académica?
3. ¿Qué diferencias se observan entre los distintos grados académicos en términos de estabilidad laboral y liderazgo institucional?

METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo, de acuerdo con lo propuesto por Hernández, et. al (2014), con el objetivo de analizar el perfil académico del personal docente femenino de la FIME, clasificado según su grado académico. La investigación se llevó a cabo mediante el uso de bases de datos institucionales, las cuales permitieron recopilar información relacionada con la trayectoria académica y laboral del personal docente femenino. Las variables analizadas incluyeron el nivel de estudios, la condición laboral y la participación en funciones administrativas dentro de la dependencia.

La población de estudio estuvo conformada por el total de docentes mujeres adscritas a la FIME. La selección de la muestra fue de tipo censal, considerando a todas las integrantes de la población, debido a la accesibilidad y disponibilidad de la información institucional. El tamaño y las características de la muestra correspondieron a los registros oficiales vigentes al momento de la recolección de los datos.

Para el proceso de recolección de datos, se realizó una revisión y sistematización de la información contenida en las bases de datos, garantizando la confidencialidad y el uso exclusivo de los datos con fines académicos. Posteriormente, los datos fueron organizados y analizados mediante técnicas de estadística descriptiva, lo que permitió elaborar representaciones gráficas para facilitar la visualización de la distribución del personal docente femenino según las variables estudiadas.

Finalmente, los datos obtenidos fueron interpretados con el propósito de describir el perfil académico y la participación del personal femenino en la estructura organizacional de la FIME, aportando información relevante para el análisis del desarrollo profesional de las mujeres en el ámbito de la ingeniería.

CC BY NC ND

RESULTADOS

Distribución del Personal académico femenino por nivel de estudios.

En relación con la edad, se observa que la mayoría de las Doctoras se concentra en el rango de 45 a 54 años, lo que evidencia una planta académica con amplia experiencia profesional. Respecto al nombramiento, predominan las categorías de Profesor Titular A y B de Tiempo Completo, lo cual refleja un alto nivel de consolidación académica dentro de la institución. En cuanto al tipo de plaza, la mayoría cuenta con plaza de Tiempo Completo, lo que indica estabilidad laboral y continuidad en las funciones académicas.



Figura 1. Distribución del personal académico femenino por grado académico.

Los resultados muestran que la mayoría de los docentes con grado de maestría se concentra en el rango de edad de 40 a 59 años, seguidos por el grupo de 30 a 39 años, con un promedio de edad de 45 años. La fecha de ingreso institucional abarca un periodo amplio que va de 1970 a 2024, lo que refleja una combinación de experiencia y renovación académica.

CC BY NC ND

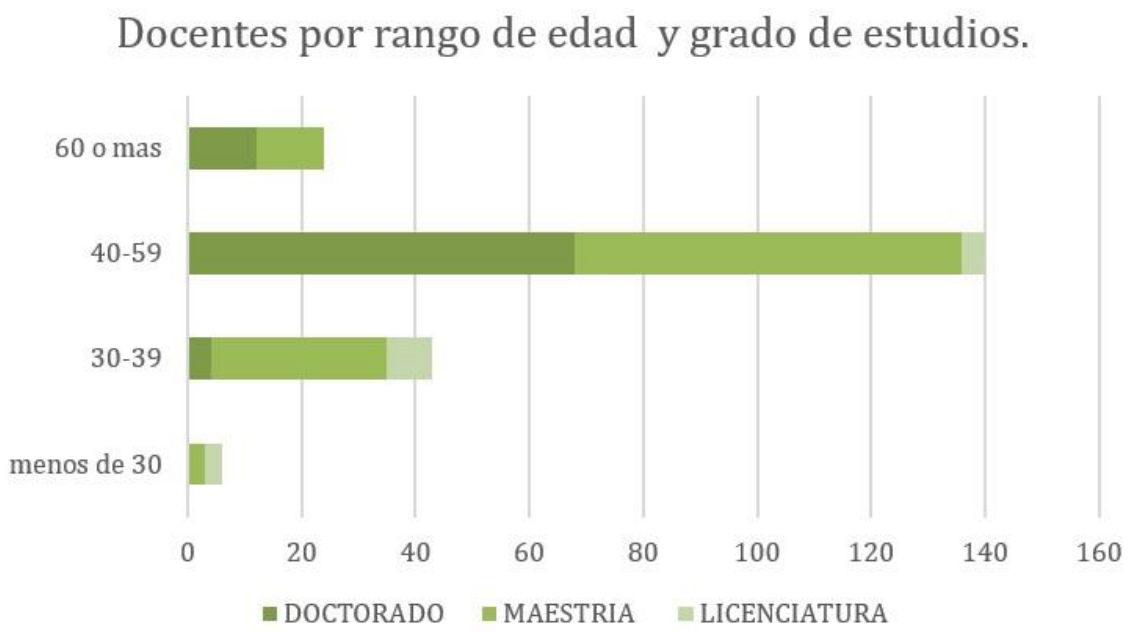


Figura 2. Distribución del personal académico femenino por grado académico y rango de edad.

El personal académico femenino con grado de licenciatura presenta una mayor concentración en el rango de edad de 30 a 39 años, lo que indica una planta docente joven, en proceso de desarrollo profesional. En cuanto al nombramiento, la totalidad de las docentes con grado de Licenciatura cuenta con la categoría de Profesor de Asignatura A, lo que evidencia un esquema de contratación por horas, reforzando la naturaleza temporal y flexible de su contratación.

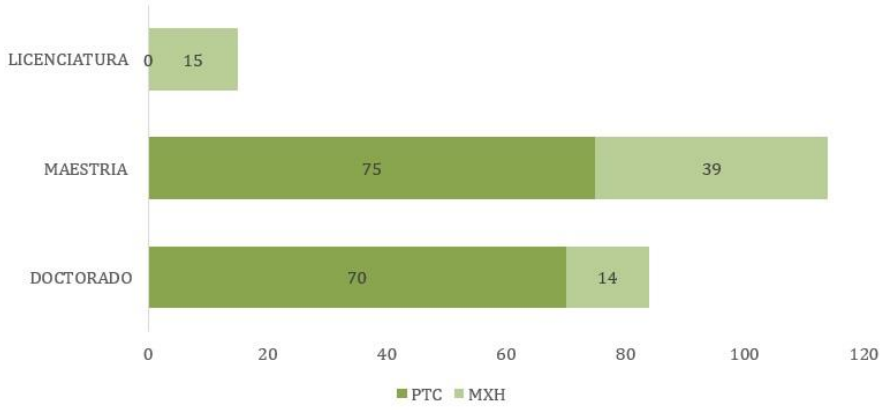


Figura 3. Distribución del personal académico femenino por condición laboral y nivel de estudios.

El estudio confirma que las mujeres han incrementado su participación en la educación superior en ingeniería, aunque persisten desafíos en etapas iniciales de la trayectoria académica.

Este hallazgo coincide con estudios sobre la brecha de género en STEM, los cuales señalan que la representación femenina suele disminuir conforme se avanza en la carrera científica, fenómeno conocido como “leaky pipeline” o fuga de talento femenino.

Según Shelley Correll, los entornos académicos STEM han estado históricamente influenciados por normas culturales que afectan la permanencia de las mujeres en estas disciplinas. Sin embargo, la presencia de modelos femeninos en posiciones académicas y de liderazgo tiene un impacto positivo en la permanencia y motivación de las estudiantes.

Asimismo, el estudio de National Science Foundation señala que la visibilidad de profesoras e investigadoras en ingeniería contribuye a reducir estereotipos de género y fomentar la participación femenina en carreras científicas y tecnológicas.

Mujeres en puestos administrativos

El análisis del personal femenino con puestos administrativos en la UANL evidencia un 59% de participación significativa en cargos de coordinación administrativa, jefaturas académicas, administrativas, subdirecciones y secretarías. Se identificaron 48 mujeres con grado de doctorado y 4 con grado de licenciatura que ocupan cargos administrativos, lo que corresponde al 38% y 3% respectivamente. Asimismo, el grupo de maestras representa la mayor proporción de mujeres en funciones administrativas, con un total de 74 docentes en este tipo de puestos, lo que representa un 59% evidenciando su predominio dentro del conjunto analizado.

Las siguientes figuras ilustran la distribución del personal académico femenino por grado académico y la participación de mujeres en puestos administrativos.



Figura 4. Porcentaje de docentes con nombramiento administrativo.

Los resultados evidencian que la FIME cuenta con una estructura académica femenina sólida y diversa. Las doctoras y docentes con grado de maestría presentan mayores niveles de estabilidad laboral y acceso a puestos de liderazgo. La presencia de mujeres en puestos administrativos estratégicos constituye un avance relevante en materia de equidad de género y participación en la toma de decisiones universitarias.

Investigaciones sobre género y educación superior han señalado que la incorporación de mujeres en posiciones académicas y directivas **favorece la diversidad cognitiva y la innovación institucional**. En este sentido, Londa Schiebinger argumenta que la diversidad de género en la

CC BY NC ND

ciencia permite ampliar perspectivas y generar soluciones más creativas dentro de los entornos científicos y tecnológicos.

Mujeres con Distinción a su labor docente

El desarrollo académico docente se vincula con la formación de posgrado, la investigación y la participación en programas de fortalecimiento académico como el Sistema Nacional de Investigadores y el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), los cuales contribuyen a la consolidación de comunidades académicas en las instituciones de educación superior (PRODEP, 2021) (CONACYT, 2020).



Figura 5. Docentes femeninas según nivel académico y reconocimiento PRODEP/SNII.

El talento femenino ha mostrado un crecimiento progresivo en indicadores como la distinción del Programa para el Desarrollo Profesional Docente con la obtención del perfil deseable PRODEP, y la participación en investigación científica, lo cual impacta positivamente en la producción científica y la calidad educativa.

Desde la perspectiva del desarrollo académico, Ernest Boyer plantea que la calidad de la educación superior depende de la articulación entre docencia, investigación y gestión académica. En este contexto, la participación femenina en estos tres ámbitos fortalece la generación de conocimiento y la formación de nuevas generaciones de ingenieros.

Por otra parte, estudios sobre diversidad en equipos científicos demuestran que los grupos de investigación con mayor diversidad de género presentan mayores niveles de innovación y productividad científica, lo cual beneficia directamente a los programas educativos STEM.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El análisis estadístico del perfil académico del talento femenino en la educación superior en ingeniería demuestra que la participación de las mujeres no solo representa un avance en términos de equidad de género, sino que también constituye un factor estratégico para el desarrollo de las

carreras STEM. Lo que demuestra que la presencia femenina no se limita únicamente al ejercicio docente, sino que participa activamente en la gobernanza universitaria y en la toma de decisiones académicas, lo cual fortalece la estructura institucional.

La presencia de mujeres con altos niveles de formación y liderazgo académico influye en varios aspectos del proceso educativo, como modelos profesionales para las estudiantes permitiendo la motivación y permanencia, la diversidad de género en el profesorado además de promover el interés en futuras generaciones por la ingeniería.

En consecuencia, el fortalecimiento del talento femenino en las instituciones de educación superior no solo responde a principios de igualdad, sino que también constituye un elemento clave para el desarrollo científico, tecnológico y educativo de las sociedades contemporáneas. No obstante, persisten retos relacionados con la consolidación de trayectorias académicas, especialmente en los niveles iniciales, lo que abre oportunidades para el fortalecimiento de políticas institucionales orientadas a la equidad de género y al desarrollo profesional.

REFERENCIAS

Boyer, E. (1990). *Scholarship reconsidered: Priorities of the professoriate*. Princeton University Press.

CONACYT. (2020). *Sistema Nacional de Investigadores*. Obtenido de https://www.conacyt.gob.mx

Correll, S. (2001). Gender and the career choice process: The role of biased self-assessments. *American Journal of Sociology*, 106(6), 1691-1730.

Estrada Galindo, L., & Mayo Hernández, A. (2022). *La mujer en la ingeniería mexicana* (Nota de política pública No. 03). Ciudad de México: DataPol, Análisis de Datos para la Política Pública. Recuperado de http://www.datapol.mx/wp-content/uploads/2023/01/La-Mujer-en-la-Ingenieria.pdf

Espino, E y González, C. (2015). Diferencias de género en competencias tecnológicas. *Universidad de Murcia*.

FIME. (2020-2025). *Informes anuales de la Dirección.*

FIME. (2025). *Alicia Margarita Torres: La primera ingeniera de FIME que cambió la historia*. Obtenido de https://www.fime.uanl.mx/entre_jovenes/alicia-margarita-torres-la-primera-ingeniera-de-fime-que-cambio-la-historia/

FIME. (s.f.). *Facultad de Ingenería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León*. Obtenido de Cómite de la mujer: https://www.fime.uanl.mx/comitedelamujer

Hernández, F. y. (2014). Metodologia de la investigación (6ta edición). *McGraw-Hill*.

PRODEP. (2021). *Programa para el Desarrollo Profesional Docente.*

Schiebinger, L. (2013). *Gendered innovations in science and engineering*. Stanford University Press.

UNESCO. (2017). *Cracking the code: Girls' and women's education in STEM*. UNESCO Publishing.

CC BY NC ND

La influencia de la inteligencia artificial en el desarrollo de los empleos del futuro

The influence of artificial intelligence on the development of jobs of the future

Jorge Alejandro Lozano Castorena [1]
Arturo Torres Bugdud [2]
María Blanca Elizabeth Palomares Ruiz [3]
Cesar Sordia Salinas [4]

RESUMEN

La presente investigación analiza la influencia de la inteligencia artificial en la transformación de los empleos del futuro y en la optimización de los procesos administrativos dentro de una organización, específicamente en la asignación de reclamos. El problema central radica en la ineficiencia de los métodos tradicionales, los cuales generan errores, retrasos y costos operativos elevados. Metodológicamente, el estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo y analítico, con un diseño no experimental y de tipo documental, basado en la revisión de literatura especializada y el análisis del contexto organizacional.

Los resultados evidencian que la implementación de la inteligencia artificial permite mejorar la precisión, reducir errores humanos y optimizar la toma de decisiones, además de transformar el mercado laboral mediante la sustitución de tareas rutinarias y la generación de nuevos roles que requieren habilidades tecnológicas avanzadas. La inteligencia artificial no elimina el empleo, sino que lo redefine, representando una herramienta estratégica para la eficiencia organizacional, aunque su implementación requiere procesos de capacitación y adaptación para la fuerza laboral.

PALABRAS CLAVES: inteligencia artificial, automatización, empleos, transformación, habilidades.

Fecha de recepción: 06 de mayo, 2026.

Fecha de aceptación: 05 de octubre, 2026.

[1] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Estudiante, jorge.lozanocstr@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0009-4083-226X
[2] Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, arturo.torresbg@uanl.edu.mx, https://orcid.org/00009-00006-1550-2101
[3] Profesora de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, maria.palomaresrz@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-4079-6969
[4] Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, cesar.sordiasl@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-2186-1080

ABSTRACT

This research analyzes the influence of artificial intelligence on the transformation of future jobs and the optimization of administrative processes within an organization, specifically in complaint assignment. The central problem lies in the inefficiency of traditional methods, which generate errors, delays, and increased operational costs. Methodologically, the study was conducted under a descriptive and analytical approach, using a non-experimental and documentary design based on the review of specialized literature and organizational context analysis.

The results show that the implementation of artificial intelligence improves accuracy, reduces human error, and enhances decision-making processes, while also transforming the labor market by replacing routine tasks and creating new roles that require advanced technological skills. It is concluded that artificial intelligence does not eliminate employment but redefines it, representing a strategic tool for organizational efficiency, although its implementation requires workforce training and adaptation processes.

KEYWORDS: artificial intelligence, automation, jobs, transformation, skills.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la transformación digital que caracteriza a la actualidad, la inteligencia artificial (IA) se ha consolidado como una herramienta clave en la optimización de procesos organizacionales y en la redefinición de las dinámicas laborales. Su implementación en entornos administrativos ha permitido automatizar tareas, mejorar la toma de decisiones y gestionar grandes volúmenes de información con mayor precisión. No obstante, también ha generado desafíos importantes relacionados con la adaptación tecnológica, la eficiencia operativa y la transformación del empleo.

La presente investigación se desarrolla en una organización dedicada a la gestión y optimización de procesos operativos, la cual enfrenta problemáticas asociadas a la incorrecta asignación de reclamos. Esta situación ha derivado en retrasos, reprocesos, incremento de costos operativos y dificultades en la identificación de responsabilidades, evidenciando limitaciones en los métodos tradicionales de gestión. Ante este escenario, surge la necesidad de analizar el impacto de la inteligencia artificial como alternativa para mejorar la eficiencia, la calidad operativa y la toma de decisiones dentro de la organización.

En este sentido, el objetivo general del estudio es analizar la influencia de la inteligencia artificial en el desarrollo y transformación de los empleos del futuro, así como en la optimización de los procesos administrativos. De manera específica, se busca identificar los sectores más afectados y beneficiados por la automatización, examinar las competencias laborales emergentes impulsadas por la IA y evaluar el nivel de preparación de la fuerza laboral frente a las nuevas demandas tecnológicas.

A partir de lo anterior, se plantea como pregunta de investigación principal: ¿Cómo influye la implementación de la inteligencia artificial en la transformación de los empleos del futuro y en la eficiencia de los procesos administrativos dentro de una organización? De esta se derivan interrogantes específicas relacionadas con el impacto de la IA en la asignación de reclamos, la reducción de errores y costos operativos, los cambios en las competencias laborales y la adaptación de la fuerza de trabajo ante la automatización.

CC BY NC ND

La justificación del estudio radica en la necesidad de comprender el papel estratégico de la inteligencia artificial en la transformación del mercado laboral. La incorporación de estas tecnologías contribuye a generar nuevas oportunidades laborales y a redefinir las habilidades requeridas en un entorno altamente digitalizado. En este sentido, la investigación aporta elementos relevantes para la toma de decisiones organizacionales, el diseño de estrategias de capacitación y la adaptación a los cambios tecnológicos.

En cuanto a las variables de estudio, se establece como variable independiente la inteligencia artificial, entendida como el conjunto de tecnologías capaces de realizar tareas que implican aprendizaje, razonamiento y adaptación. Por otro lado, la variable dependiente corresponde al desarrollo de los empleos del futuro, definido como el proceso de transformación del mercado laboral hacia nuevos roles, competencias y estructuras ocupacionales impulsadas por la innovación tecnológica.

La investigación presenta limitaciones al centrarse en el análisis de tendencias, competencias y percepciones sobre la IA, sin incluir modelos estadísticos ni implementación tecnológica, además de estar delimitada al contexto latinoamericano, especialmente en México, lo que restringe su generalización. No obstante, aporta comprensión relevante sobre el impacto actual y potencial de la inteligencia artificial en los procesos organizacionales y el mercado laboral frente a la transformación digital.

JUSTIFICACIÓN

El estudio se justifica en el contexto de la acelerada transformación digital que enfrentan las organizaciones, donde la incorporación de tecnologías basadas en inteligencia artificial se ha convertido en un elemento clave para mejorar la eficiencia operativa y la competitividad. En particular, surge de la necesidad de analizar el impacto de estas herramientas en los procesos administrativos, específicamente en la asignación de reclamos, una actividad crítica que influye directamente en la calidad del servicio, la satisfacción del cliente y la optimización de recursos.

En la organización objeto de estudio, la incorrecta asignación de reclamos ha generado problemáticas relevantes, tales como retrasos en la atención, reprocesos, incremento en los costos operativos y dificultades en la identificación de responsabilidades. Estas situaciones evidencian limitaciones en los métodos tradicionales de gestión, los cuales resultan insuficientes ante el crecimiento exponencial de la información y la complejidad de los procesos actuales. En este sentido, la inteligencia artificial se posiciona como una alternativa viable para automatizar tareas repetitivas, reducir el margen de error humano y mejorar la toma de decisiones mediante el análisis eficiente de grandes volúmenes de datos.

Asimismo, la investigación adquiere relevancia al considerar que la implementación de la inteligencia artificial no solo impacta los procesos internos de las organizaciones, sino que también contribuye a la transformación del mercado laboral, modificando las competencias requeridas y generando nuevos retos para la fuerza de trabajo. Por ello, el estudio no se limita a una perspectiva tecnológica, sino que integra un enfoque estratégico que permite comprender las implicaciones organizacionales, económicas y laborales derivadas de la adopción de estas herramientas.

En este marco, la investigación radica en su aporte para identificar soluciones innovadoras orientadas a la mejora de la gestión administrativa, así como en la generación de conocimiento que contribuya a la toma de decisiones informadas en entornos empresariales altamente digitalizados. De igual manera, proporciona elementos relevantes para el diseño de estrategias de capacitación y adaptación laboral, favoreciendo una transición tecnológica más eficiente y equitativa. Por lo tanto, esta investigación resulta pertinente tanto a nivel académico como práctico, al abordar un problema

CC BY NC ND

actual con implicaciones directas en la productividad organizacional y en el desarrollo de los empleos del futuro.

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo con alcance exploratorio, ya que tiene como propósito examinar y comprender de manera inicial la influencia de la inteligencia artificial en los procesos administrativos y su impacto en el desarrollo de los empleos del futuro. Este tipo de investigación permite aproximarse a fenómenos poco estudiados o en constante transformación, como lo es la adopción de la inteligencia artificial en entornos organizacionales.

De acuerdo con Sampieri et al. (2014), los estudios exploratorios se utilizan cuando el objetivo es indagar sobre temas emergentes, identificar variables relevantes y generar bases para investigaciones posteriores más profundas. En este sentido, el enfoque adoptado resulta pertinente, ya que busca reconocer tendencias, percepciones y posibles implicaciones de la inteligencia artificial en la eficiencia organizacional y en el mercado laboral, sin establecer relaciones causales definitivas.

La investigación se guía por la siguiente hipótesis: la implementación de la inteligencia artificial provoca una transformación significativa en el mercado laboral, desplazando ciertos empleos tradicionales, pero generando nuevas oportunidades que requieren habilidades digitales y tecnológicas más avanzadas.

En este sentido, se identifican como variables de estudio:

- **Variable independiente:** Inteligencia artificial, entendida como el conjunto de tecnologías capaces de realizar tareas que implican aprendizaje, razonamiento y adaptación (Russell & Norvig, 2021).
- **Variable dependiente:** Desarrollo de los empleos del futuro, definido como la transformación del mercado laboral hacia nuevos roles y competencias impulsadas por la IA.

El diseño de la investigación es no experimental de tipo transversal, ya que no se manipulan deliberadamente las variables, sino que se analizan en su contexto natural en un momento determinado (Sampieri et al., 2014b). Este enfoque permite observar el fenómeno tal como ocurre en la realidad organizacional, particularmente en la empresa objeto de estudio que se encuentra en una fase de implementación experimental de herramientas de inteligencia artificial.

El estudio está conformado por el personal administrativo de la organización analizada, especialmente aquellos involucrados en la gestión, clasificación y asignación de reclamos. La muestra se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando a los empleados que participan directamente en los procesos administrativos y que interactúan con sistemas de información.

Las características relevantes de los sujetos incluyen su participación en tareas operativas, experiencia en el manejo de información y exposición a procesos susceptibles de automatización. Esta selección permitió obtener información pertinente sobre el impacto de la inteligencia artificial en el desempeño laboral y en la eficiencia de los procesos.

Para la recolección de datos se utilizaron instrumentos de medición basados en encuestas estructuradas y análisis documental. La encuesta estuvo orientada a identificar la percepción de los

CC BY NC ND

trabajadores sobre el impacto de la inteligencia artificial, el nivel de automatización de sus tareas y los cambios en las competencias laborales.

Las variables medidas incluyeron: grado de uso de herramientas tecnológicas, frecuencia de errores en la asignación de reclamos, eficiencia en los procesos administrativos y percepción sobre la transformación del empleo. La validez del instrumento se sustentó en su congruencia con los objetivos de investigación y en la revisión de literatura especializada (Davenport, T. H., & Ronanki, R., 2018), mientras que su confiabilidad se garantizó mediante la consistencia en la formulación de los ítems y su aplicación estandarizada.

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en varias etapas. En primer lugar, se realizó una revisión documental de fuentes académicas y reportes especializados sobre inteligencia artificial y su impacto en el empleo. Autores como Brynjolfsson y McAfee (2014) —en su obra The Second Machine Age (capítulos 2, 4 y 7)— sostienen que la capacidad de los algoritmos modernos para analizar información, aprender patrones y tomar decisiones informadas permitirá que las máquinas realicen funciones que anteriormente requerían habilidades cognitivas humanas. Esto implica una transformación estructural en sectores administrativos, financieros, logísticos e incluso profesionales altamente especializados.

La relevancia de este estudio también reside en la necesidad de diseñar estrategias de capacitación que permitan una adaptación laboral justa y accesible. Tal como señala Education (2021), los sistemas educativos deben transformarse para preparar a la población para un contexto donde la creatividad, el pensamiento crítico, la alfabetización digital y la capacidad de trabajar con sistemas inteligentes serán habilidades esenciales. Posteriormente, se definieron las variables, objetivos e hipótesis del estudio.

En una segunda fase, se diseñó y aplicó el instrumento de recolección de datos dirigido al personal administrativo de la organización objeto de estudio, con la finalidad de identificar percepciones, experiencias y tendencias relacionadas con la implementación de la inteligencia artificial en los procesos administrativos y su influencia en el desarrollo de los empleos del futuro. La elaboración del instrumento se fundamentó en los objetivos de la investigación y en las variables planteadas, permitiendo obtener información relevante sobre la eficiencia operativa, la automatización de tareas, la reducción de errores y la adaptación tecnológica dentro del entorno laboral.

El instrumento consistió en un cuestionario estructurado con preguntas cerradas y de escala tipo Likert, de acuerdo con Matas (2018) esta es un instrumento psicométrico donde el encuestado debe indicar su acuerdo o desacuerdo sobre una afirmación, ítem o reactivo, lo que se realiza a través de una escala ordenada y unidimensional aplicado de manera presencial y digital a los participantes seleccionados. Su aplicación permitió recopilar información sobre el nivel de aceptación de las herramientas de inteligencia artificial, así como las percepciones del personal respecto a los cambios organizacionales y laborales derivados de la transformación digital.

Asimismo, durante el proceso de aplicación se enfrentaron dificultades relacionadas con la disponibilidad de los participantes y cierta resistencia al cambio tecnológico. Sin embargo, estas situaciones fueron atendidas mediante la explicación clara de los objetivos académicos de la investigación y la garantía de confidencialidad de la información proporcionada, favoreciendo así la participación y confiabilidad de las respuestas obtenidas.

Los sujetos seleccionados, estableciendo contacto directo con el personal administrativo de la organización. Durante esta etapa, se enfrentaron dificultades relacionadas con la disponibilidad de los participantes y la resistencia al cambio tecnológico, las cuales se resolvieron mediante la explicación del propósito de la investigación y la garantía de confidencialidad de la información.

CC BY NC ND

Tabla 1. Instrumento de evaluación aplicado al personal administrativo

Dimensión evaluada	Indicador	Pregunta	Escala de respuesta
Uso de IA en procesos administrativos	Frecuencia de uso tecnológico	¿Considera que las herramientas de IA facilitan la gestión de reclamos?	Totalmente de acuerdo Totalmente en desacuerdo
Eficiencia operativa	Reducción de tiempos y errores	¿La automatización ha disminuido errores en la asignación de reclamos?	Sí No Parcialmente
Adaptación tecnológica	Nivel de aceptación	¿Se siente preparado para trabajar con herramientas basadas en IA?	Alto Medio Bajo
Transformación laboral	Percepción sobre cambios en el empleo	¿Considera que la IA modificará las funciones laborales en el futuro?	Mucho Poco Nada
Capacitación	Necesidad de formación	¿Considera necesaria la capacitación continua en herramientas digitales?	Sí No

Los datos obtenidos fueron analizados para identificar patrones, relaciones y tendencias asociadas al impacto de la inteligencia artificial en los procesos administrativos y en la transformación del empleo. Este procedimiento permitió obtener conclusiones fundamentadas sobre la influencia de la tecnología en la eficiencia organizacional y en las dinámicas laborales contemporáneas.

RESULTADOS

Los resultados del presente estudio permiten identificar que la implementación de la IA constituye un factor determinante en la transformación de los procesos administrativos y del mercado laboral. A partir del análisis documental y del contexto organizacional examinado, se observa que la incorporación de herramientas de IA tiene un impacto directo en la optimización de tareas, particularmente en la asignación de reclamos, donde se evidencian mejoras potenciales en la precisión, la eficiencia operativa y la reducción de errores humanos.

En relación con el problema planteado, los hallazgos confirman que los métodos tradicionales de gestión presentan limitaciones significativas ante el incremento en el volumen y complejidad de la información. La dependencia de procesos manuales genera inconsistencias, retrasos y costos adicionales, lo que coincide con la literatura revisada, la cual señala que la automatización inteligente permite mejorar la trazabilidad de los procesos y fortalecer la toma de decisiones basada en datos.

CC BY NC ND

En este sentido, la IA se posiciona como una solución viable para atender las deficiencias detectadas en la organización objeto de estudio.

Por otra parte, los resultados también evidencian que la adopción de inteligencia artificial no solo impacta la eficiencia organizacional, sino que tiene implicaciones relevantes en el ámbito laboral. Se identifica una tendencia hacia la sustitución de tareas rutinarias, así como la creación de nuevos roles que demandan habilidades tecnológicas, analíticas y cognitivas más avanzadas. Este hallazgo respalda la hipótesis planteada, al confirmar que la IA no elimina el empleo en su totalidad, sino que lo transforma, generando nuevas oportunidades y desafíos para la fuerza laboral.

Asimismo, se destaca que uno de los principales retos asociados a la implementación de la IA es la preparación del capital humano. La evidencia analizada sugiere que existe una brecha entre las competencias actuales de los trabajadores y las habilidades requeridas en un entorno digitalizado, lo que puede limitar el aprovechamiento de las tecnologías si no se acompaña de estrategias de capacitación y adaptación organizacional. Este aspecto resulta fundamental, ya que el éxito de la integración tecnológica depende no solo de la infraestructura, sino también de la capacidad de los individuos para interactuar eficazmente con los sistemas inteligentes.

En términos generales, los resultados permiten afirmar que la inteligencia artificial representa una herramienta estratégica con alto potencial para mejorar la eficiencia administrativa y fortalecer la competitividad organizacional. No obstante, su implementación debe abordarse desde una perspectiva integral que considere tanto los beneficios tecnológicos como las implicaciones humanas y laborales.

Es importante señalar que, si bien los hallazgos se sustentan en evidencia teórica y en el análisis del contexto organizacional, la ausencia de datos empíricos cuantitativos limita la posibilidad de generalizar los resultados. A pesar de ello, el estudio ofrece un juicio razonado y fundamentado que contribuye a la comprensión del fenómeno analizado, proporcionando bases sólidas para futuras investigaciones orientadas a la validación empírica de los efectos de la inteligencia artificial en los procesos organizacionales y en el empleo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del análisis realizado, se concluye que la inteligencia artificial constituye un elemento clave en la transformación de los procesos administrativos y del mercado laboral. En particular, su implementación en la asignación de reclamos dentro de la organización analizada representa una alternativa viable para mejorar la eficiencia operativa, reducir errores humanos y optimizar la toma de decisiones basada en datos. De esta manera, se confirma que la problemática identificada, relacionada con la incorrecta gestión de reclamos, puede ser atendida mediante el uso estratégico de tecnologías inteligentes.

En relación con la pregunta de investigación, se determinó que la inteligencia artificial influye de manera significativa tanto en la eficiencia de los procesos administrativos como en la transformación de los empleos del futuro. Los resultados evidencian que, si bien la automatización tiende a sustituir tareas rutinarias, también impulsa la creación de nuevos roles laborales que demandan competencias digitales, analíticas y cognitivas más avanzadas. Por lo tanto, la investigación permite afirmar que la IA no elimina el empleo, sino que lo redefine, generando un entorno laboral más dinámico y tecnológicamente orientado.

CC BY NC ND

Asimismo, se considera que el objetivo general del estudio fue cumplido, al lograrse el análisis de la influencia de la inteligencia artificial en el desarrollo y transformación del empleo, así como en la optimización de procesos administrativos. De igual forma, los objetivos específicos fueron alcanzados al identificar los sectores más afectados por la automatización, reconocer las competencias laborales emergentes y analizar el nivel de preparación de la fuerza laboral frente a los cambios tecnológicos.

En cuanto a las implicaciones de la investigación, se destaca que la adopción de inteligencia artificial no solo representa una mejora tecnológica, sino también un cambio estructural en la forma en que las organizaciones operan y en cómo las personas se integran al entorno laboral. Esto implica la necesidad de desarrollar estrategias de capacitación continua, promover la alfabetización digital y fomentar una cultura organizacional orientada a la innovación y adaptación al cambio.

La inteligencia artificial se posiciona como una herramienta estratégica con alto potencial para mejorar la eficiencia organizacional y transformar el mercado laboral. Sin embargo, su implementación debe acompañarse de políticas, estrategias educativas y acciones organizacionales que garanticen una transición equitativa, sostenible y orientada al desarrollo integral de las personas y las instituciones.

REFERENCIAS

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). Machine, platform, crowd: Harnessing our digital future. W. W. Norton & Company.

Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. Harvard Business Review, 96(1), 108–116.

Education, I. C. o. T. F. O. (2021). Reimagining our futures together: a new social contract for education. En *UNESCO eBooks*. https://doi.org/10.54675/asrb4722

Matas, A. (2018). Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, *20*(1), 38-47. https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.1.1347

Sampieri, R. H., Collado, C. F., Lucio, P. B., Valencia, S. M., & Torres, C. P. M. (2014). *Metodología de la investigación*.

Reducción de horas extra durante los preparativos del inventario anual

Reduction of overtime hours during annual inventory preparation

Evelyn Magdalena Máscota Hernández [1]
Arturo Torres Bugdud [2]
Esteban Baez Villarreal [3]
Arnulfo Treviño Cubero [4]

RESUMEN

El presente artículo analiza el problema del exceso de horas extra durante los preparativos del inventario anual en una empresa del sector logístico. Esta situación ha generado impactos negativos en la eficiencia operativa, incremento de costos y afectaciones en el bienestar laboral del personal. El objetivo principal es proponer una solución basada en la estandarización de procesos, la automatización de sistemas y la implementación de un equipo dedicado de inventarios. La metodología empleada es de tipo aplicada, con un diseño no experimental, basada en el análisis de datos históricos, revisión documental y evaluación de alternativas mediante criterios de costo, impacto y sostenibilidad. Los resultados muestran que la combinación de procesos estandarizados, automatización del cruce de información y asignación de responsabilidades específicas permite reducir significativamente las horas extra y mejorar la precisión del inventario. Se concluye que la implementación de herramientas de gestión estructuradas contribuye a optimizar el desempeño organizacional y mejorar las condiciones laborales.

PALABRAS CLAVES: horas extra, inventario, estandarización, automatización, eficiencia operativa.

Fecha de recepción: 06 de mayo, 2026.

Fecha de aceptación: 02 de octubre, 2026.

[1] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Estudiante, evelyn.mascotahrn@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0003-5326-5467
[2] Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, arturo.torresbg@uanl.edu.mx, https://orcid.org/00009-00006-1550-2101
[3] Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, esteban.baezvl@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0001-4200-6297
[4] Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, arnulfo.trevinocb@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-0958-8352

ABSTRACT

This article analyzes the problem of excessive overtime during the preparation of annual inventory in a logistics company. This situation has negatively impacted operational efficiency, increased costs, and affected employee well-being. The main objective is to propose a solution based on process standardization, system automation, and the implementation of a dedicated inventory team. The methodology is applied and non-experimental, based on historical data analysis, literature review, and evaluation of alternatives using cost, impact, and sustainability criteria. Results show that combining standardized processes, automated data reconciliation, and defined roles significantly reduces overtime and improves inventory accuracy. It is concluded that structured management tools enhance organizational performance and working conditions.

KEYWORDS: overtime, inventory, standardization, automation, operational efficiency.

INTRODUCCIÓN

El control de inventarios es una actividad fundamental en las organizaciones del sector logístico, debido a su impacto directo en la eficiencia operativa, la reducción de costos y la confiabilidad de la información. Una gestión inadecuada de estos procesos puede generar inconsistencias en los registros, retrabajos y un incremento significativo en la carga laboral del personal, especialmente durante periodos críticos como la preparación del inventario anual.

En diversos contextos organizacionales, la falta de estandarización de procesos y la limitada integración de sistemas de información representan factores clave que afectan el desempeño operativo. Estas condiciones suelen derivar en el uso excesivo de horas extra, lo que no solo incrementa los costos para la organización, sino que también impacta negativamente en el bienestar y productividad de los trabajadores.

En este contexto, la operación de inventarios en Almacenadora Express, Sede San Nicolás, presenta niveles elevados de horas extra durante los preparativos del inventario anual, así como inconsistencias en la información derivadas de la falta de integración entre los sistemas SAP y JDA. Esta situación genera retrabajos, sobrecarga operativa y desgaste laboral en el personal, afectando tanto la productividad como la confiabilidad de los registros de inventario.

Ante esta problemática, el presente estudio tiene como objetivo analizar las causas del exceso de horas extra en los preparativos del inventario anual y proponer una solución basada en la estandarización de procesos y la automatización de actividades clave, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y reducir la carga laboral.

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica por la necesidad de abordar una problemática operativa recurrente en el sector logístico: el uso excesivo de horas extra durante los preparativos del inventario anual. Este fenómeno no solo representa un incremento significativo en los costos laborales, sino que también impacta negativamente en la salud, motivación y desempeño del personal, generando fatiga, errores operativos y disminución en la productividad.

Desde una perspectiva organizacional, la falta de estandarización de procesos y la limitada integración entre sistemas de información como SAP y JDA constituyen factores críticos que afectan la eficiencia operativa. Estas deficiencias provocan duplicidad de actividades, retrabajos y

CC BY NC ND

discrepancias en los registros, lo cual incrementa la carga de trabajo y prolonga las jornadas laborales.

Asimismo, la relevancia del estudio radica en su impacto estratégico, ya que la precisión del inventario es un elemento clave para la toma de decisiones, la confiabilidad de la información financiera y la satisfacción del cliente. En este caso particular, la operación vinculada a clientes de alta importancia incrementa la necesidad de contar con procesos robustos, confiables y eficientes.

Objetivo general

Analizar las causas de la prolongación de jornadas laborales en la fase de preparación del inventario anual y proponer una solución basada en la estandarización de procesos, la automatización de sistemas SAP-JDA y la organización de un equipo dedicado de inventarios, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa.

Objetivos específicos

1. Identificar y analizar las principales causas que generan el incremento de horas extra durante los preparativos del inventario anual.
2. Evaluar alternativas de solución considerando criterios como costo, impacto operativo y viabilidad de implementación.
3. Diseñar una propuesta de mejora basada en la estandarización de procesos, la automatización de actividades y la asignación de responsabilidades específicas, contrastando sus resultados esperados con datos históricos de la organización

Pregunta de investigación

¿Cómo influyen la falta de estandarización de procesos y la limitada integración entre SAP y JDA en el incremento de horas extra durante la preparación del inventario anual?

MARCO TEÓRICO

La gestión de inventarios constituye un elemento fundamental dentro de las operaciones logísticas, ya que influye directamente en la eficiencia operativa, la reducción de costos y la calidad del servicio. Una administración adecuada permite mantener niveles óptimos de stock, garantizar la disponibilidad de productos y minimizar pérdidas asociadas a errores, obsolescencia o retrabajos (Alburqueque-Pozo et al., 2022). En este sentido, la correcta planificación de los procesos de inventario resulta esencial para evitar sobrecargas operativas, particularmente en periodos críticos como la preparación del inventario anual.

Uno de los indicadores clave en la gestión de inventarios es la rotación, la cual mide la frecuencia con la que el stock se renueva en un periodo determinado. Una alta rotación se asocia con mayor eficiencia operativa, menor acumulación de inventario y mejor capacidad de respuesta al cliente (Tsai, 2018). Sin embargo, una gestión ineficiente puede derivar en inconsistencias en los registros, afectando la toma de decisiones y generando cargas adicionales de trabajo.

Desde la perspectiva teórica, la Administración Científica propuesta por Frederick Winslow Taylor establece principios fundamentales como la estandarización de procesos, la división del trabajo, la capacitación del personal y el control sistemático de las actividades. Estos elementos permiten optimizar el uso del tiempo, reducir desperdicios y mejorar la eficiencia en operaciones repetitivas. En el contexto de los inventarios, la ausencia de estos principios genera variabilidad en la ejecución de tareas, lo que se traduce en errores operativos, retrabajos y un incremento en la carga laboral.

CC BY NC ND

Por otra parte, la filosofía Lean y el Sistema de Producción Toyota, desarrollado por Taiichi Ohno (1988), se enfocan en la eliminación de desperdicios, la mejora continua y la optimización del flujo de trabajo. La identificación y eliminación de actividades que no agregan valor permite reducir tiempos muertos, minimizar retrabajos y mejorar la eficiencia global de los procesos. En el ámbito logístico, estas prácticas contribuyen a optimizar la operación de almacenes, mejorar la rotación de inventarios y reducir costos operativos.

En relación con el factor humano, diversos estudios han demostrado que una carga laboral excesiva y jornadas prolongadas de trabajo pueden generar efectos negativos en la salud y desempeño de los trabajadores, incluyendo fatiga, errores operativos y disminución de la productividad (Virtanen et al., 2012). Por ello, la adecuada planificación de actividades, la distribución equilibrada del trabajo y la implementación de procesos eficientes resultan fundamentales para evitar el uso excesivo de horas extra.

En el contexto actual, la automatización y la integración tecnológica desempeñan un papel clave en la optimización de los procesos logísticos. El uso de sistemas de información permite mejorar la trazabilidad, reducir errores humanos y agilizar la validación de datos. De acuerdo con Ivanov, Dolgui y Sokolov (2019), la digitalización y sincronización de la información en tiempo real dentro de la cadena de suministro son factores clave para mejorar la eficiencia operativa, reducir discrepancias en los registros y fortalecer la toma de decisiones.

Los sistemas de gestión empresarial como SAP S/4HANA y Blue Yonder (s.f.) desempeñan un papel fundamental en la administración de inventarios. Estas plataformas permiten la integración de información en tiempo real, la automatización de procesos operativos y la mejora en la precisión de los registros. Sin embargo, cuando la integración entre estos sistemas es limitada o inexistente, se generan procesos manuales adicionales, duplicidad de actividades y mayor probabilidad de errores, lo que incrementa la carga laboral y la necesidad de jornadas extraordinarias.

Además, la calidad de los datos y la trazabilidad de la información son elementos críticos en la gestión de inventarios. La falta de consistencia en los registros puede generar decisiones erróneas, afectando la planeación de la demanda, el abastecimiento y la operación logística. De acuerdo con Christopher (2016), la visibilidad de la información en la cadena de suministro es esencial para garantizar la coordinación entre procesos y mejorar la capacidad de respuesta organizacional.

En este sentido, la automatización no debe entenderse únicamente como la digitalización de tareas, sino como una herramienta estratégica que permite mejorar la confiabilidad de la información y optimizar el desempeño organizacional. La correcta implementación de sistemas integrados facilita la generación de datos en tiempo real, reduce la intervención manual y mejora la precisión del inventario, lo cual impacta directamente en la eficiencia operativa y en la toma de decisiones.

Finalmente, la gestión eficiente del inventario se encuentra estrechamente relacionada con la capacidad de las organizaciones para adaptarse a entornos dinámicos y competitivos. La implementación de procesos estandarizados, el uso de tecnologías de información y la aplicación de enfoques de mejora continua permiten abordar de manera integral las problemáticas operativas, contribuyendo no solo a la reducción de costos y tiempos, sino también a la mejora de las condiciones laborales y la sostenibilidad organizacional.

METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado, con un diseño no experimental y de carácter descriptivo-analítico, orientado a comprender las causas del incremento de horas extra

CC BY NC ND

durante los preparativos del inventario anual y proponer una solución operativa viable dentro del contexto organizacional. Este enfoque permitió analizar la problemática a partir de condiciones reales de operación, sin manipulación directa de variables, priorizando la interpretación de datos históricos y el análisis de procesos internos.

El estudio se fundamenta en la hipótesis de que la estandarización de procesos, la automatización del cruce de información entre sistemas y la implementación de un equipo dedicado de inventarios contribuyen a reducir significativamente la cantidad de horas extra generadas en periodos críticos. A partir de esta premisa, se analizaron como elementos clave las condiciones operativas existentes, considerando tanto factores estructurales como tecnológicos que inciden en la carga laboral.

La investigación se estructuró en distintas fases; en la primera fase se llevó a cabo un análisis de información histórica relacionada con las jornadas extraordinarias registradas durante inventarios anuales anteriores, lo que permitió identificar patrones de comportamiento, picos de carga laboral y áreas críticas dentro del proceso. De manera paralela, se realizó una revisión operativa de las actividades involucradas en la preparación del inventario, enfocándose en la interacción entre los sistemas SAP y JDA, así como en la ejecución de tareas por parte del personal.

En la segunda fase, se profundizó en el análisis de los procesos mediante la identificación de ineficiencias, retrabajos y actividades que no agregan valor. Este análisis permitió reconocer que la falta de estandarización y la limitada integración tecnológica generan duplicidad de funciones y tiempos muertos, lo cual impacta directamente en la extensión de las jornadas laborales.

En la tercera fase se plantearon diversas alternativas de solución, entre las que se consideraron la contratación de personal temporal, la automatización de actividades mediante integración de sistemas y la reorganización del trabajo a través de la asignación de un equipo especializado con procesos definidos. Estas alternativas fueron evaluadas a partir de criterios como el impacto en la reducción de horas extra, la viabilidad operativa y la sostenibilidad en el tiempo, lo que permitió seleccionar la opción más adecuada para atender la problemática desde su causa raíz.

Finalmente, se diseñó una propuesta de mejora estructurada, la cual integra la estandarización de procesos, la automatización del flujo de información y la definición de responsabilidades específicas. Durante el desarrollo del estudio se presentaron limitaciones relacionadas con la disponibilidad y consistencia de los datos, así como con la integración de información proveniente de distintos sistemas, las cuales fueron abordadas mediante la depuración de registros, la validación cruzada de datos y el análisis comparativo de información histórica.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que el exceso de horas extra durante los preparativos del inventario anual no responde a un solo factor aislado, sino a la interacción de múltiples elementos operativos, tecnológicos y organizacionales que afectan de manera directa la eficiencia del proceso. En particular, se identificó que la ausencia de procesos estandarizados, la limitada integración entre los sistemas de información y la falta de una adecuada distribución de responsabilidades generan condiciones propicias para la aparición de retrabajos, duplicidad de tareas y tiempos muertos.

En primer lugar, la falta de estandarización en las actividades operativas provoca una alta variabilidad en la ejecución de las tareas, lo cual se traduce en inconsistencias en los resultados y en una mayor dependencia de la experiencia individual de los trabajadores. Esta situación coincide con los principios de la administración científica, los cuales establecen que la ausencia de métodos definidos

CC BY NC ND

incrementa la ineficiencia y el desperdicio de recursos. En este contexto, los resultados del estudio muestran que la informalidad en los procesos no solo incrementa la carga laboral, sino que también dificulta el control y seguimiento de las actividades.

Por otra parte, la limitada integración entre los sistemas de información utilizados en la operación representa uno de los factores más críticos identificados. La necesidad de realizar conciliaciones manuales entre plataformas genera un incremento significativo en los tiempos de procesamiento de información, además de elevar la probabilidad de errores en los registros. Este hallazgo es consistente con estudios recientes en gestión de la cadena de suministro, los cuales destacan que la falta de sincronización de datos reduce la eficiencia operativa y aumenta los costos asociados a la gestión de inventarios. En este sentido, la dependencia de procesos manuales se posiciona como una de las principales causas del incremento en las horas extra.

Asimismo, el análisis de las alternativas de solución permitió identificar que las estrategias enfocadas únicamente en aumentar la capacidad operativa, como la contratación de personal temporal, no abordan las causas raíz del problema. Si bien estas medidas pueden generar una reducción parcial de la carga de trabajo en el corto plazo, no eliminan las ineficiencias estructurales del proceso, por lo que su impacto resulta limitado y temporal. En contraste, las soluciones orientadas a la mejora de procesos, como la estandarización de actividades y la automatización del flujo de información, presentan un mayor potencial de impacto al intervenir directamente sobre los factores que generan la problemática.

Desde la perspectiva de la filosofía Lean, los resultados obtenidos reflejan la presencia de diversos tipos de desperdicio dentro del proceso, particularmente en forma de sobreprocesamiento, esperas y retrabajos. Estas ineficiencias no solo afectan el desempeño operativo, sino que también incrementan la presión sobre el personal, obligándolo a extender sus jornadas laborales para cumplir con los objetivos establecidos. En este sentido, la implementación de prácticas orientadas a la eliminación de actividades que no agregan valor contribuye significativamente a la optimización del flujo de trabajo y a la reducción de la carga operativa.

Adicionalmente, la propuesta de conformar un equipo dedicado de inventarios permite mejorar la organización del trabajo mediante una distribución más clara de responsabilidades. Este enfoque favorece la especialización de funciones, reduce la incertidumbre operativa y facilita la coordinación entre las distintas actividades involucradas en el proceso. Como resultado, se genera un entorno más controlado y predecible, lo cual contribuye a disminuir la necesidad de recurrir a horas extra para cumplir con las tareas.

En términos de impacto operativo, se estima que la implementación conjunta de estandarización de procesos, automatización del cruce de información y reorganización del trabajo podría reducir de manera significativa la carga laboral durante los periodos de inventario. En un escenario proyectado, la disminución de retrabajos y tiempos muertos podría representar una reducción aproximada de entre un 20% y un 35% en las horas extra, lo cual tendría un efecto directo en la disminución de costos y en la mejora de la eficiencia operativa. Si bien estos valores son estimaciones basadas en el análisis de las condiciones actuales, permiten dimensionar el alcance potencial de la propuesta.

Por otro lado, es importante destacar que los beneficios de la implementación no se limitan al ámbito operativo. La mejora en la calidad de la información y la reducción de errores en los registros contribuyen a fortalecer la toma de decisiones, permitiendo a la organización contar con datos más confiables y oportunos. Asimismo, la disminución de la carga laboral excesiva tiene implicaciones positivas en el bienestar del personal, reduciendo la fatiga y mejorando las condiciones de trabajo, lo cual puede traducirse en un mejor desempeño general.

CC BY NC ND

En conjunto, los resultados del estudio no solo validan la necesidad de intervenir en los procesos actuales, sino que también evidencian la importancia de adoptar un enfoque integral que combine mejora de procesos, integración tecnológica y gestión organizacional. Este tipo de enfoque permite abordar de manera efectiva problemáticas complejas, generando soluciones sostenibles que impactan tanto en la eficiencia operativa como en la calidad del entorno laboral.

CONCLUSIONES

A partir del desarrollo de la presente investigación, se logró identificar que el exceso de horas extra durante los preparativos del inventario anual no es un fenómeno aislado, sino el resultado de una combinación de factores operativos, tecnológicos y organizacionales que interactúan entre sí. Entre los principales elementos detectados destacan la ausencia de procesos estandarizados, la limitada integración entre los sistemas de información y la falta de una estructura clara en la asignación de responsabilidades, lo que genera retrabajos, duplicidad de actividades y una carga laboral innecesaria.

El análisis realizado permitió determinar que las soluciones tradicionales, como la contratación de personal temporal, si bien pueden reducir la presión operativa en el corto plazo, no abordan las causas raíz del problema, por lo que su impacto resulta limitado y poco sostenible. En contraste, la implementación de procesos estandarizados, la automatización del cruce de información entre sistemas y la conformación de un equipo dedicado de inventarios representan una estrategia integral que permite intervenir directamente sobre los factores que originan la ineficiencia.

Desde una perspectiva teórica, los resultados obtenidos confirman la relevancia de los principios de la administración científica y la filosofía Lean en la optimización de procesos operativos. La estandarización de actividades, la eliminación de desperdicios y la definición clara de roles contribuyen significativamente a mejorar la eficiencia, reducir errores y optimizar el uso del tiempo. Asimismo, la integración tecnológica se posiciona como un elemento clave para disminuir la intervención manual, mejorar la calidad de la información y facilitar la toma de decisiones en entornos logísticos complejos.

En términos operativos, la propuesta planteada no solo impacta en la reducción de horas extra, sino también en la mejora de la precisión del inventario, la disminución de errores en los registros y el fortalecimiento del control sobre las actividades. Esto se traduce en beneficios directos para la organización, tales como la reducción de costos operativos, el incremento de la productividad y una mayor confiabilidad en la información utilizada para la toma de decisiones.

Es importante destacar el impacto que la mejora de los procesos tiene en el factor humano. La reducción de jornadas laborales prolongadas contribuye a disminuir la fatiga, mejorar el bienestar del personal y reducir la probabilidad de errores asociados al cansancio. En este sentido, la propuesta no solo responde a una necesidad operativa, sino también a una mejora en las condiciones laborales, lo cual puede influir positivamente en la motivación y desempeño de los trabajadores.

No obstante, el estudio presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas. Entre ellas, destaca la dependencia de datos históricos específicos de una sola operación, lo cual puede limitar la generalización de los resultados a otros contextos organizacionales. Asimismo, la implementación de la propuesta requiere un proceso de adaptación y seguimiento continuo para asegurar su efectividad en el tiempo.

CC BY NC ND

Finalmente, se concluye que la adopción de un enfoque integral basado en la estandarización, la automatización y la organización del trabajo constituye una estrategia efectiva para enfrentar problemáticas operativas complejas en el sector logístico. Se recomienda que futuras investigaciones profundicen en la medición cuantitativa del impacto de estas mejoras una vez implementadas, así como en la incorporación de indicadores de desempeño que permitan evaluar de manera continua la eficiencia del proceso y su evolución en el tiempo.

REFERENCIAS

Alburqueque-Pozo, V. R., Saldaña-Valdez, C., Miñan-Olivos, G., & Valderrama-Puscan, M. (2022). Inventory management to reduce logistics costs in industrial sector companies. A systematic review of the literature during 2012–2022. In 2nd LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development-LEIRD.

Blue Yonder. (s.f.). https://es.blueyonder.com/about

Christopher, M. (2016). Logistics & supply chain management (5th ed.). Pearson Education Limited.

Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. International Journal of Production Research, 57(3), 829–846. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1488086

Netland, Torbjørn H., & Kasra Ferdows. “The S-Curve Effect of Lean Implementation.” Production and Operations Management, vol. 25, no. 6, Dec. 2015, pp. 1106–20. https://doi.org/10.1111/poms.12539

Ohno, T. (1988). Toyota production system: beyond large-scale production. Productivity press.

SAP. (s.f.). Historia de SAP. https://www.sap.com/japan/about/company/history.html

Taylor, F. W. (1911). The principles of scientific management. NuVision Publications, LLC.

Tsai, Wen-Hsien, and Shang-Yu Lai. “Green Production Planning and Control Model With ABC Under Industry 4.0 for the Paper Industry.” Sustainability, vol. 10, no. 8, Aug. 2018, p. 2932. https://doi.org/10.3390/su10082932

Virtanen, M., Heikkilä, K., Jokela, M., Ferrie, J. E., Batty, G. D., Vahtera, J., & Kivimäki, M. (2012). Long working hours and coronary heart disease: a systematic review and meta-analysis. American journal of epidemiology, 176(7), 586-596.

CC BY NC ND

Madurez sostenible habilitada por IoT en manufactura mexicana hacia Industria 5.0

IoT-enabled sustainability maturity in Mexican manufacturing toward Industry 5.0

Mario Alberto Morales Rodríguez [1]
Gabriela Cervantes Zubirías [2]
Diana Movilla Quesada [3]
Marco Antonio Díaz Martínez [4]

RESUMEN

La disponibilidad de sensores no permite determinar, por sí sola, la madurez sostenible de una empresa manufacturera. Se propone un modelo socio-técnico para orientar el diagnóstico de esta madurez y su uso en la formación del ingeniero en México. El estudio es conceptual y utiliza una síntesis narrativa crítica de catorce referencias seleccionadas por pertinencia temática; no incluye trabajo de campo ni revisión sistemática. El resultado es un marco de cinco dimensiones: infraestructura IoT, decisión basada en datos, alineación socio-técnica, desempeño sostenible y preparación para Industria 5.0. Se establecen indicadores sugeridos, cinco niveles orientativos y actividades educativas que relacionan medición, interpretación y decisiones responsables. Se concluye que el modelo ofrece una estructura para examinar capacidades y resultados de manera diferenciada, pero su utilidad diagnóstica y educativa requiere validación empírica antes de emplearlo como instrumento de clasificación empresarial.

.

PALABRAS CLAVES: internet de las Cosas; sostenibilidad; manufactura; Industria 5.0; formación del ingeniero.

Fecha de recepción: 19 de junio, 2026.

Fecha de aceptación: 20 de octubre, 2026.

[1] Profesor de Tiempo Completo, Departamento de Ingeniería Industrial, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán, Universidad Autónoma de Tamaulipas. mmorales@docentes.uat.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-1342-297X
[2] Profesora de Tiempo Completo, Departamento de Ingeniería Industrial, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán, Universidad Autónoma de Tamaulipas. gabriela.cervantes@docentes.uat.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-9912-5035
[3] Profesora de Tiempo Completo, Departamento de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Superior de Zamora, Universidad de Salamanca, España. dmovilla@usal.es, https://orcid.org/0000-0003-2779-8166
[4] Profesor de Tiempo Completo, Departamento de Ingeniería Industrial y Departamento de Posgrado e Investigación, TecNM–Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, Veracruz 93990, México. marco.dm@panuco.tecnm.mx, https://orcid.org/0000-0003-1054-7088

ABSTRACT

The availability of sensors alone does not establish the sustainability maturity of a manufacturing firm. This study proposes a socio-technical model to guide maturity assessment and its use in engineering education in Mexico. It is a conceptual study based on a critical narrative synthesis of fourteen references selected for thematic relevance; it includes neither fieldwork nor a systematic review. The outcome is a five-dimensional framework covering IoT infrastructure, data-driven decision-making, socio-technical alignment, sustainability performance, and readiness for Industry 5.0. Suggested indicators, five indicative maturity levels, and educational activities connect measurement, interpretation, and responsible decisions. The model provides a structure for examining capabilities and outcomes separately. However, its diagnostic and educational usefulness requires empirical validation before it can be used to classify manufacturing firms.

KEYWORDS: internet of things; sustainability; manufacturing; industry 5.0; engineering education.

INTRODUCCIÓN

El Internet de las Cosas (IoT) conecta equipos y sistemas para obtener información sobre la operación industrial. Las revisiones de Díaz-Martínez et al. (2026a, 2026b) describen su relación con monitoreo, aprovechamiento de recursos y sostenibilidad. Estas aplicaciones plantean una pregunta para la ingeniería industrial: ¿cómo distinguir la disponibilidad tecnológica de la capacidad organizacional para utilizarla responsablemente? Contar con datos no equivale a demostrar mejoras ambientales, económicas o sociales.

La transformación digital involucra cambios en procesos, organización y creación de valor, además de la incorporación de herramientas (Vial, 2019). A su vez, Industria 5.0 complementa el paradigma de Industria 4.0 con sostenibilidad, centralidad humana y resiliencia (European Commission, 2021). Por ello, un diagnóstico centrado únicamente en sensores o automatización sería insuficiente para valorar la preparación de un sistema productivo desde esta perspectiva.

La propuesta se dirige a la manufactura mexicana como ámbito de aplicación futura, sin atribuir a todas sus empresas un mismo nivel de digitalización. El estudio de García Alcaraz et al. (2022), realizado en la industria maquiladora mexicana, relaciona herramientas de manufactura esbelta con dimensiones de sostenibilidad. Este antecedente muestra la pertinencia de estudiar capacidades operativas y resultados en un contexto industrial concreto, aunque no valida el modelo IoT aquí planteado ni permite generalizarlo al país.

El problema abordado es la necesidad de traducir los vínculos entre digitalización y sostenibilidad en una estructura diagnóstica que permita examinar evidencias, responsabilidades y decisiones, y que sea utilizable en la formación del ingeniero. El objetivo es proponer un modelo socio-técnico de madurez sostenible habilitada por IoT, con indicadores y niveles orientativos para la manufactura mexicana, y explicitar su aplicación educativa. La pregunta principal es: ¿qué dimensiones y evidencias conviene integrar para evaluar capacidades digitales, resultados sostenibles y preparación humana y organizacional?

Los modelos previos ya consideran componentes organizacionales y ambientales: el índice de acatech incorpora cultura y estructura organizacional (Schuh et al., 2020), y Zoubek et al. (2021) integran atributos ambientales en la evaluación de madurez. Por tanto, la contribución aquí planteada reside en una integración específica: distinguir capacidades IoT, decisiones documentadas y resultados sostenibles, incorporar criterios humanos y de continuidad, y convertir ese perfil en tareas

CC BY NC ND

formativas con evidencias verificables. La originalidad se plantea en esa articulación y deberá contrastarse con un conjunto más amplio de modelos; no se sostiene una primacía universal ni superioridad validada.

JUSTIFICACIÓN

La pertinencia para la formación del ingeniero reside en conectar competencias habitualmente trabajadas por separado: instrumentación, análisis de datos, mejora de procesos, evaluación de sostenibilidad y juicio ético. Una actividad de monitoreo puede producir información técnicamente correcta y, aun así, conducir a una decisión inadecuada si omite la seguridad del trabajador, la calidad del producto o el consumo de recursos. El modelo permite discutir esas interdependencias mediante evidencias y alternativas de intervención.

La sostenibilidad se considera desde las dimensiones ambiental, económica y social de la triple cuenta de resultados (Elkington, 1997). La circularidad agrega la atención a la conservación del valor de materiales y productos, para la cual las tecnologías digitales pueden apoyar estrategias manufactureras (Kristoffersen et al., 2020; Ertz y Gasteau, 2023). Estas perspectivas justifican que el diagnóstico incluya resultados y capacidades humanas, además de conectividad. Su utilización educativa se propone como una aplicación del marco, no como una intervención ya evaluada.

METODOLOGÍA

Diseño y delimitación del corpus

Se desarrolla un estudio conceptual mediante síntesis narrativa crítica de un corpus bibliográfico delimitado. La unidad de análisis es la aportación conceptual de cada publicación a la relación entre tecnología, decisiones, organización y sostenibilidad; no son las empresas ni los trabajadores. Se emplean catorce referencias de 1997 a 2026, incluidos fundamentos teóricos, revisiones, modelos de madurez y un antecedente sobre maquiladoras mexicanas. Se adopta este diseño porque el objetivo es integrar categorías y reglas de interpretación, antes de construir y validar una escala empresarial. Las referencias utilizadas se identifican en la Tabla 1 y en la bibliografía. La selección es intencional, basada en pertinencia, y no constituye una búsqueda exhaustiva de toda la literatura disponible.

Se incluyen trabajos que aportan al menos uno de estos elementos: mecanismos digitales en producción, medición de desempeño, circularidad, transformación organizacional o principios de Industria 5.0. Se incluyen dos modelos de referencia para contrastar la arquitectura diagnóstica y una revisión reciente para situar sus límites de transferencia. Se dejan fuera de la síntesis las fuentes sin una relación explícita con estos componentes; esta delimitación corresponde al objetivo conceptual y no constituye una evaluación de calidad de todo el campo. Los textos históricos e institucionales cumplen una función de fundamento; los artículos de revisión y los estudios empíricos proporcionan antecedentes. Las fuentes de revisión no se tratan como observaciones independientes de empresas ni se suman sus muestras, debido a su posible solapamiento. Tampoco se traslada a este artículo el carácter sistemático de las revisiones citadas.

El diseño no establece un protocolo de revisión sistemática ni permite estimar la cobertura del corpus frente al conjunto de publicaciones del campo. La síntesis se limita al contenido conceptual verificable en las publicaciones y sus secciones accesibles. La disponibilidad desigual de textos completos y la

CC BY NC ND

selección intencional restringen la cobertura y profundidad del análisis; por tanto, las relaciones propuestas deben considerarse una interpretación teórica sujeta a revisión.

Procedimiento de síntesis

La síntesis se organiza mediante cuatro campos de comparación: objeto evaluado, componentes tecnológicos y organizacionales, tratamiento de resultados sostenibles y alcance de la validación. La Tabla 1 registra la función conceptual de las fuentes. A partir de esas funciones se distinguen capacidades, acciones y resultados; después se proponen definiciones operativas e indicadores en la Tabla 2 y descriptores en la Tabla 3. La Tabla 4 contrasta el diseño con dos modelos previos y una revisión del campo. Esta organización permite examinar el razonamiento de la propuesta, sin atribuirle una codificación independiente, consenso entre expertos o fiabilidad interevaluador no realizados.

Tabla 1. Fundamentos bibliográficos de la síntesis conceptual

Eje analítico	Referencias	Función en la propuesta
IoT y producción sostenible	Díaz-Martínez et al. (2026a, 2026b); Román-Salinas et al. (2026)	Sustentar la distinción entre captura de datos, mecanismos operativos y resultados.
Transformación y medición	Vial (2019); Tortorella et al. (2019); Kamble et al. (2020)	Considerar capacidades organizacionales y evaluación del desempeño; evitar equiparar adopción con madurez.
Sostenibilidad y circularidad	Elkington (1997); Kristoffersen et al. (2020); Ertz y Gasteau (2023)	Incluir resultados ambientales, económicos y sociales y conservación del valor de recursos.
Orientación humana y contexto	European Commission (2021); García Alcaraz et al. (2022)	Incorporar centralidad humana y resiliencia y delimitar un antecedente manufacturero mexicano.
Modelos y transferencia	Schuh et al. (2020); Zoubek et al. (2021); Reyes Domínguez et al. (2026)	Contrastar componentes del diagnóstico y precisar sus límites de validación y adaptación.

Fuente: elaboración propia. La tabla muestra la función de las fuentes; no es una evaluación de su calidad ni un inventario exhaustivo del campo.

La inclusión de una categoría exige que tenga una función distinguible en el diagnóstico y una evidencia identificable. D1 describe disponibilidad y calidad de captura; D2 documenta el uso de esa información; D3 reúne competencias y responsabilidades; D4 registra consecuencias comparables; D5 examina criterios humanos y preparación ante interrupciones. Una misma evidencia puede informar varias dimensiones, pero su interpretación debe explicitar el papel que cumple en cada una. Los niveles se construyen como descriptores de uso, sin derivarlos de una distribución empírica ni de una secuencia universal.

Proposiciones y alcance

Se plantean tres proposiciones contrastables. P1: para una cobertura y calidad de datos comparables, la trazabilidad de las decisiones se asociaría con mejoras de desempeño; se

CC BY NC ND

examinaría relacionando registros de alertas, intervenciones y resultados normalizados. P2: competencias y responsabilidades claras facilitarían convertir una alerta en una acción; se contrastaría mediante evidencias de capacitación, asignación y cierre de intervenciones. P3: resultados ambientales u operativos favorables no bastarían para establecer preparación hacia Industria 5.0; deberían acompañarse de participación, supervisión humana y continuidad evaluada. Estas proposiciones orientan el diseño futuro y no son hipótesis comprobadas.

La unidad de una aplicación futura deberá ser un proceso o una planta delimitados. El contraste de P1 requerirá considerar mezcla de productos, volumen, mantenimiento y cambios simultáneos; P2 exige examinar mecanismos organizativos y no sólo contar cursos; P3 requiere descriptores observables para cada criterio humano y de resiliencia. Las flechas de la Figura 1 expresan el razonamiento conceptual, no efectos estimados.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Estructura y contribución del modelo

El resultado de la síntesis es un modelo con cinco dimensiones. Las tres primeras describen capacidades habilitadoras; la cuarta reúne resultados observables; la quinta examina preparación organizacional para los principios de Industria 5.0. Esta separación evita definir la madurez únicamente por el número de dispositivos y evita utilizar resultados sostenibles como prueba automática de capacidad digital. Una mejora puede responder a cambios de producto, mantenimiento convencional u otras acciones ajenas al IoT.

Tabla 2. Dimensiones e indicadores sugeridos del modelo

Dimensión y función	Definición operativa	Evidencia sugerida
D1 Infraestructura IoT Capacidad	Capturar e integrar datos confiables de variables críticas de un proceso.	Inventario de equipos; cobertura de variables; disponibilidad y calibración; integración de registros.
D2 Decisión basada en datos Capacidad	Interpretar información y convertirla en acciones trazables.	Reglas de alerta; responsables; órdenes de intervención; decisiones documentadas y seguimiento.
D3 Alineación socio-técnica Capacidad	Coordinar competencias, participación y responsabilidades en el uso de tecnología.	Evaluación de competencias; consulta al personal; protocolos de acceso; roles y gestión del cambio.
D4 Desempeño sostenible Resultados	Examinar cambios ambientales, económicos y sociales con una base comparable.	kWh por unidad conforme; residuos por unidad; costo por unidad; tiempos de paro; incidentes y condiciones ergonómicas.
D5 Preparación para Industria 5.0 Orientación	Incorporar centralidad humana, resiliencia y criterios éticos a las decisiones.	Planes de continuidad probados; revisión de riesgos; supervisión humana; protección de datos y participación en el diseño.

CC BY NC ND

Fuente: elaboración propia a partir de los ejes de la Tabla 1. Los indicadores se adaptarán al proceso y no constituyen un instrumento validado.

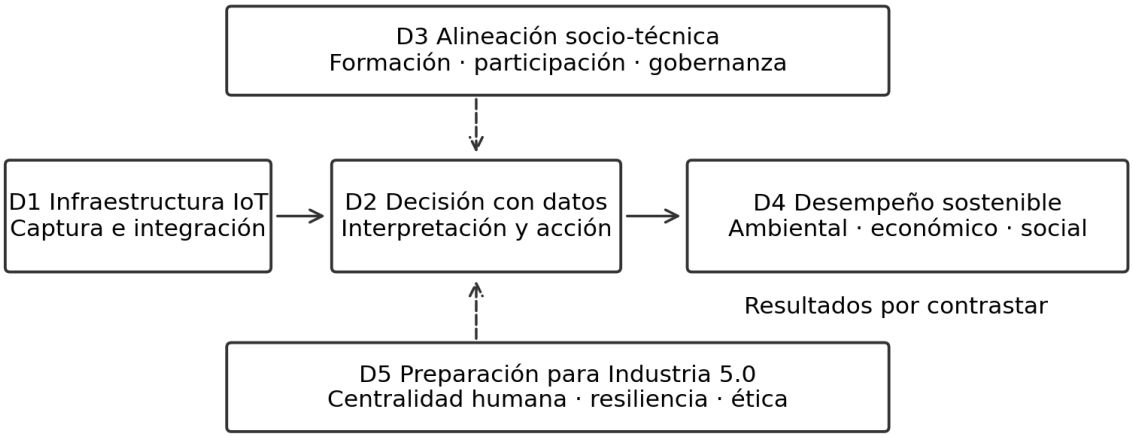


Figura 1. Relaciones conceptuales entre capacidades y resultados

Fuente: elaboración propia. Las flechas continuas representan el mecanismo propuesto entre datos, acciones y resultados; las discontinuas indican condiciones organizacionales. No representan causalidad estimada ni una secuencia obligatoria de adopción.

La infraestructura permite observar el proceso, pero la decisión introduce el mecanismo de intervención. La alineación socio-técnica sostiene la interpretación y ejecución, mientras que la preparación para Industria 5.0 establece criterios para valorar cómo se decide. La dimensión social de los resultados se refiere a consecuencias observables para las personas; D3 se refiere a capacidades organizativas y D5 a criterios y preparación. Por tanto, capacitación, bienestar y centralidad humana no se utilizan como sinónimos.

Niveles orientativos y uso diagnóstico

La Tabla 3 presenta cinco niveles como descriptores de referencia. No son etapas universales ni intervalos de una escala numérica: una planta puede integrar datos y mantener brechas en participación o resiliencia. Se propone elaborar primero un perfil por dimensión y documentar qué evidencia respalda cada juicio. El nivel 5 expresa una orientación hacia Industria 5.0, no una certificación de cumplimiento.

Tabla 3. Niveles orientativos para organizar un diagnóstico futuro

Nivel	Descriptor propuesto	Evidencia que se buscaría
1 Inicial	Registros predominantemente manuales y actuación reactiva.	Descripción del proceso, fuentes de datos y brechas de medición.
2 Digital básico	Captura digital parcial y uso local de información.	Sensores o registros identificados, responsables y limitaciones de integración.

CC BY NC ND

Nivel	Descriptor propuesto	Evidencia que se buscaría
3 Integrado	Datos vinculados con acciones de producción, calidad o mantenimiento.	Alertas, decisiones e intervenciones trazables; competencias y controles de acceso.
4 Orientado a sostenibilidad	Decisiones vinculadas con objetivos ambientales, económicos y sociales.	Líneas base, indicadores comparables y revisión conjunta de beneficios y efectos adversos.
5 Orientado a Industria 5.0	Criterios humanos, éticos y de resiliencia incorporados a la gestión.	Participación del personal, supervisión humana, continuidad evaluada y seguimiento de resultados.

Fuente: elaboración propia. La asignación de niveles y sus umbrales requiere validación; no se calcula un índice agregado en este artículo.

Para una aplicación piloto se recomienda delimitar el proceso, identificar objetivos, recopilar documentos y contrastar las respuestas de producción, mantenimiento, calidad, seguridad y recursos humanos. La evidencia faltante debe registrarse como no disponible, sin convertirla automáticamente en desempeño nulo. Antes de agregar puntuaciones se deberán validar ítems, reglas y ponderaciones. El desempeño de D4 se reportaría por separado para evitar circularidad entre capacidades y resultados.

Comparación con modelos previos y aportación específica

El índice de acatech organiza la transformación digital en seis etapas y cuatro áreas estructurales: recursos, sistemas de información, cultura y estructura organizacional (Schuh et al., 2020). Esta referencia muestra que la madurez digital ya comprende organización y aprendizaje. La propuesta conserva esa preocupación, pero concentra el análisis en la trazabilidad de una decisión IoT y sus consecuencias sostenibles, con productos de aprendizaje vinculados a cada dimensión.

Zoubek et al. (2021) incorporan atributos ambientales de procesos productivos y no productivos en un modelo de madurez. La sostenibilidad, por tanto, tampoco constituye por sí sola una novedad. El diseño aquí propuesto amplía la discusión hacia resultados económicos y sociales y distingue esos resultados de la capacidad de medirlos y de los criterios humanos utilizados al decidir. Se trata de una diferencia de organización conceptual, no de una comparación empírica de precisión diagnóstica.

Tabla 4. Comparación conceptual con antecedentes seleccionados

Referencia y objeto	Componentes o alcance documentados	Relación con la propuesta
Schuh et al. (2020) Transformación digital	Seis etapas; recursos, sistemas, cultura y estructura organizacional.	Se retoman capacidades organizativas; se focaliza la cadena dato–decisión–resultado y su uso formativo.

CC BY NC ND

Referencia y objeto	Componentes o alcance documentados	Relación con la propuesta
Zoubek et al. (2021) Madurez y ambiente	Atributos ambientales de procesos productivos y no productivos.	Se distingue desempeño de capacidades; se consideran también consecuencias económicas y sociales.
Reyes Domínguez et al. (2026) Revisión del campo	Validación, alcance sectorial y aplicabilidad de modelos a economías emergentes.	Se explicitan límites de transferencia y una ruta de validación contextual.

Fuente: elaboración propia a partir de las referencias citadas. La comparación es selectiva y conceptual; no evalúa exhaustivamente sus instrumentos ni prueba superioridad del modelo propuesto.

La aportación específica es una regla de interpretación del diagnóstico: la existencia del dato se examina en D1, la acción documentada en D2, sus condiciones organizativas en D3, las consecuencias en D4 y su orientación humana y resiliente en D5. Esa separación permite identificar brechas distintas y evita que una puntuación tecnológica elevada oculte resultados adversos. Su uso educativo exige que el estudiante justifique la relación entre evidencia y decisión; la utilidad de esta regla deberá evaluarse frente a otros enfoques.

Relación con los antecedentes y límites de interpretación

La propuesta da continuidad conceptual a tres investigaciones previas en las que participa Morales-Rodríguez como coautor. Díaz-Martínez et al. (2026a) examinan las relaciones entre IoT y sostenibilidad corporativa en ecosistemas de Industria 4.0; Díaz-Martínez et al. (2026b) revisan el impacto del IoT sobre la sostenibilidad; y Román-Salinas et al. (2026) organizan mecanismos de sostenibilidad en sistemas productivos y su relación con la manufactura centrada en las personas. Estos antecedentes fundamentan la atención a captura de datos, uso de información y resultados sostenibles. El presente artículo desarrolla una aplicación distinta: organiza esos vínculos en dimensiones diagnósticas, evidencias sugeridas y tareas para la formación del ingeniero. Esta continuidad no implica reutilizar sus resultados como validación del modelo ni presentar las revisiones como evidencia empresarial independiente. La distinción entre adopción tecnológica y desempeño también se apoya en Tortorella et al. (2019) y Kamble et al. (2020).

El marco de circularidad de Kristoffersen et al. (2020) y el estudio de Ertz y Gasteau (2023) ayudan a distinguir mecanismos digitales y conservación del valor de los productos. En esta propuesta, trazabilidad y datos sobre materiales pueden apoyar preguntas sobre recuperación, reutilización o extensión de vida útil. Esa relación es una posibilidad de aplicación; no implica que toda instalación de IoT reduzca residuos ni que una estrategia circular produzca beneficios netos en cualquier contexto.

Para la manufactura mexicana, la adaptación deberá considerar tamaño de planta, proceso, acceso a infraestructura y responsabilidades de gestión. El antecedente de maquiladoras de García Alcaraz et al. (2022) aporta pertinencia contextual, pero no sustituye evidencia sobre IoT. No se extrapolan hallazgos de otros países al conjunto de México ni se presenta un diagnóstico nacional. La validación debe examinar qué dimensiones son relevantes y qué evidencias pueden obtenerse en cada sector.

La revisión de Reyes Domínguez et al. (2026) identifica dificultades de validación, transferencia contextual y operacionalización de dimensiones de Industria 5.0. Esas dificultades también afectan

CC BY NC ND

a este diseño: nombrar a México como ámbito futuro no acredita pertinencia nacional. Por ello, su adaptación deberá examinar disponibilidad de registros, responsabilidades y restricciones de cada proceso; las conclusiones de esa revisión no se convierten aquí en estimaciones sobre empresas mexicanas.

Aplicación en la formación del ingeniero

Se propone emplear el modelo en un proyecto integrador de ingeniería industrial, organizado alrededor de un proceso real autorizado o un caso didáctico claramente identificado. El problema puede consistir en relacionar consumo energético, defectos y tiempos de paro. El estudiante deberá delimitar el sistema, seleccionar variables, justificar una estrategia de medición y explicar qué decisión podría tomarse con cada dato. La adquisición de información debe ser proporcional al problema y a los recursos disponibles.

La actividad puede desarrollarse en tres entregables. El primero describe el proceso y la arquitectura de captura, con criterios de calidad de datos. El segundo integra registros, calcula indicadores comparables y propone una intervención. El tercero analiza su viabilidad económica, sus riesgos laborales, las necesidades de capacitación y la continuidad ante fallas. De este modo se articulan conocimientos de medición, estadística, calidad, mantenimiento, sustentabilidad y gestión de proyectos, sin exigir una implementación empresarial completa.

La evaluación educativa propuesta considera coherencia entre problema y medición, trazabilidad de cálculos, justificación de decisiones, análisis de impactos y comunicación técnica. Cada criterio debe contar con descriptores y evidencias definidos por el docente antes de la actividad. Una solución técnicamente eficiente que omita seguridad o use datos personales sin justificación no debería considerarse suficiente. Esta rúbrica es una recomendación de diseño: no se ha aplicado a estudiantes ni se han medido ganancias de aprendizaje.

Un caso didáctico podría presentar datos simulados de una línea con mediciones de energía y paros. La integración de esos registros permitiría discutir D1 y D2; el registro de capacitación y responsabilidades permitiría examinar D3; una comparación de indicadores normalizados abordaría D4; y un escenario de pérdida de conectividad serviría para D5. El ejemplo no representa una empresa observada ni prueba efectos del modelo. Su utilidad es mostrar cómo una misma situación puede requerir decisiones técnicas, sociales y éticas.

Como regla propuesta para el caso didáctico, cada decisión debe acompañarse de variable, unidad, periodo, fuente, calidad del registro y responsable. Por ejemplo, una reducción del consumo total no permite afirmar una mejora de eficiencia si disminuyó la producción: el estudiante deberá comparar energía por unidad conforme y explicar cambios de producto y carga. También deberá reconocer posibles compensaciones, como menor tiempo de paro con mayor costo o exposición laboral. Esta exigencia convierte el modelo en una herramienta para argumentar decisiones, cuya eficacia educativa sigue pendiente de evaluación.

Limitaciones y validación futura

La selección intencional del corpus puede introducir sesgo; las revisiones citadas pueden compartir estudios y no deben contarse como evidencia independiente. No se dispone de una muestra empresarial, mediciones propias, evaluación de expertos ni resultados educativos. Por ello, el modelo no tiene validez de constructo, fiabilidad o capacidad predictiva establecidas. Las dimensiones pueden solaparse y los niveles no cuentan con umbrales comprobados. También será necesario valorar costos de conectividad, mantenimiento, seguridad y tratamiento de datos, además de los beneficios esperados.

CC BY NC ND

La validación futura deberá iniciar con revisión de contenido por expertos, delimitación de ítems y una aplicación piloto en procesos manufactureros. Posteriormente podrán examinarse comprensión, acuerdo entre evaluadores, estructura de las dimensiones y relación con indicadores externos. El diseño muestral y la técnica estadística dependerán del instrumento y de los datos disponibles; no se recomienda aplicar ecuaciones estructurales de manera automática. La aplicación educativa requerirá una evaluación independiente mediante productos de aprendizaje y un diseño adecuado para atribuir cambios a la intervención.

CONCLUSIONES

La síntesis conceptual produjo un marco de cinco dimensiones, indicadores sugeridos y cinco niveles orientativos. La comparación selectiva reconoce que otros modelos ya integran organización y ambiente. Su aportación específica es vincular la cadena dato–decisión–resultado con criterios humanos y de continuidad y con tareas formativas verificables, manteniendo diferenciadas las evidencias de cada componente. La pregunta de investigación se responde mediante una estructura que incorpora captura de datos, acción, coordinación humana, resultados y preparación ética y resiliente; no mediante la medición de empresas o estudiantes.

Se concluye que el modelo ofrece una base conceptual para orientar el análisis de la madurez sostenible habilitada por IoT y su enseñanza en ingeniería industrial, siempre que sus categorías se utilicen como propuestas por validar. Para emplearlo como instrumento de clasificación en la manufactura mexicana se requiere demostrar pertinencia contextual, fiabilidad y validez; para sostener beneficios educativos se requiere evaluar su aplicación. En consecuencia, su alcance actual es organizar preguntas y evidencias para diagnóstico y aprendizaje, sin certificar niveles de madurez ni afirmar mejoras causales.

REFERENCIAS

Díaz-Martínez, M. A., Román-Salinas, R. V., Fuentes-Rubio, Y. A., Morales-Rodríguez, M. A., Cervantes-Zubirias, G., & Rivera-García, G. E. (2026a). IoT-driven pathways toward corporate sustainability in Industry 4.0 ecosystems: A systematic review. Sustainability, 18(2), 1052. https://doi.org/10.3390/su18021052

Díaz-Martínez, M. A., Román-Salinas, R. V., Vargas-Castilleja, R. C., Morales-Rodríguez, M. A., Cervantes-Zubirias, G., Fuentes-Rubio, Y. A., Grande-Ramírez, J. R., & González-Rubín, V. I. (2026b). The impact of the internet of things on corporate sustainability in the Industry 4.0 era: A systematic literature review. Results in Engineering, 29, 109304. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.109304

Elkington, J. (1997). Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. Capstone.

Ertz, M., & Gasteau, F. (2023). Role of smart technologies for implementing industry 4.0 environment in product lifetime extension towards circular economy: A qualitative research. Heliyon, 9(6), e16762. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16762

CC BY NC ND

European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. (2021). Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2777/308407

García Alcaraz, J. L., Morales García, A. S., Díaz Reza, J. R., Blanco Fernández, J., Jiménez Macías, E., & Puig i Vidal, R. (2022). Machinery lean manufacturing tools for improved sustainability: The Mexican maquiladora industry experience. Mathematics, 10(9), 1468. https://doi.org/10.3390/math10091468

Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Ghadge, A., & Raut, R. (2020). A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs: A review and empirical investigation. International Journal of Production Economics, 229, 107853. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107853

Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P., & Li, J. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. Journal of Business Research, 120, 241–261. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044

Reyes Domínguez, D., Infante Abreu, M. B., & Parv, A. L. (2026). Industry 4.0/5.0 maturity models: Empirical validation, sectoral scope, and applicability to emerging economies. Systems, 14(2), 134. https://doi.org/10.3390/systems14020134

Román-Salinas, R. V., Díaz-Martínez, M. A., Fuentes-Rubio, Y. A., Vargas-Castilleja, R. d. C., Rivera-García, G. E., Ramírez-Vázquez, J. C., Morales-Rodríguez, M. A., Cervantes-Zubirias, G., & Grande-Ramírez, J. R. (2026). IoT-enabled sustainability in production systems: A systematic review of Industry 4.0 mechanisms and the transition toward human-centric manufacturing. Sustainability, 18(12), 6299. https://doi.org/10.3390/su18126299

Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., & ten Hompel, M. (Eds.). (2020). Industrie 4.0 maturity index: Managing the digital transformation of companies (Update 2020). acatech. https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/

Tortorella, G. L., Giglio, R., & van Dun, D. H. (2019). Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. International Journal of Operations & Production Management, 39(6/7/8), 860–886. https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2019-0005

Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. The Journal of Strategic Information Systems, 28(2), 118–144. https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003

Zoubek, M., Poor, P., Broum, T., Basl, J., & Simon, M. (2021). Industry 4.0 maturity model assessing environmental attributes of manufacturing company. Applied Sciences, 11(11), 5151. https://doi.org/10.3390/app11115151

CC BY NC ND

Validación industrial de un sistema poka-yoke para prevenir defectos en componentes metálicos estampados

Industrial validation of a poka-yoke system to prevent defects in stamped metal components

María Blanca Becerra Rodríguez [1]
Arturo Hernández Hernández [2]
Roberto Zitzumbo Guzmán [3]
Wendy Maldonado González [4]
Omar Alejandro Cervantes Gloria [5]

RESUMEN

La prevención de defectos en componentes estampados exige mecanismos capaces de actuar en la fuente sin incrementar de forma relevante la complejidad del proceso. El objetivo fue diseñar, implementar y evaluar un dispositivo mecánico Poka-Yoke para impedir la liberación de piezas con ausencia de un barreno crítico. Se empleó un diseño aplicado antes-después basado en registros de producción, análisis de causa raíz, diseño CAD, maquinado CNC e inspección funcional. La línea base registró 630 piezas no conformes de aproximadamente 35,000 componentes mensuales (1.8 %). El seguimiento post-implementación disponible abarcó cinco meses y 175,000 piezas inspeccionadas, sin fugas documentadas del defecto específico; para cero eventos, el límite superior binomial exacto unilateral del 95 % es aproximadamente 0.0017 % (17.1 ppm). El cronometraje directo de 30 ciclos de posicionamiento, verificación y liberación mediante el Poka-Yoke mostró un tiempo medio de 54.91 ± 2.79 s/ciclo (IC95 %: 53.87–55.95 s; rango: 50.11–60.53 s). La validación R&R por atributos utilizó 200 piezas patrón (100 conformes y 100 sin barreno), tres operadores y dos repeticiones, para un total de 1,200 evaluaciones. Se obtuvieron 591 verdaderos positivos, 600 verdaderos negativos, nueve falsos negativos y ningún falso positivo, con sensibilidad global de 98.50 %, especificidad de 100.00 %, exactitud de 99.25 %, tasa de falsos negativos de 1.50 % y tasa de falsos positivos de 0.00 %. El dispositivo requirió una inversión aproximada de $2,000 MXN frente a un costo anual estimado de $100,000 MXN para inspección manual adicional; bajo los supuestos declarados, el ROI simple del primer año fue 4,900 % y el periodo de recuperación 0.02 años.

Durante los cinco meses se registraron 54 fallas del dispositivo, 27 paros atribuibles al Poka-Yoke, 11 ajustes no programados y nueve intervenciones de mantenimiento correctivo; las incidencias totales disminuyeron de 38 en el primer mes a cuatro en el quinto. Los resultados respaldan el Poka-

[1] Profesora-Investigadora del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico 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 del Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC); rzitzumb@ciatec.mx, https://orcid.org/0000-0002-4124-8825
[4] Profesora del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Querétaro (ITQ); wendy.mg@queretaro.tecnm.mx; https://orcid.org/0009-0001-4558-8480
[5] Profesor-Investigador Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Querétaro (ITQ); omar.cg@queretaro.tecnm.mx; https://orcid.org/0009-0004-6827-008X

CC BY NC ND

Yoke como una alternativa preventiva de bajo costo, con las limitaciones propias de un estudio preexperimental de un solo número de parte.

.

PALABRAS CLAVES: estampado de metales, Poka-Yoke, prevención de defectos, manufactura esbelta, aseguramiento de la calidad.

Fecha de recepción: 02 de agosto, 2026.

Fecha de aceptación: 13 de octubre, 2026.

ABSTRACT

Defect prevention in stamped components requires mechanisms capable of acting directly at the source without substantially increasing process complexity. This study aimed to design, implement, and evaluate a mechanical Poka-Yoke device to prevent the release of parts missing a critical hole. An applied before-and-after design was employed, integrating production records, root-cause analysis, CAD development, CNC machining, and functional inspection. Baseline data showed 630 nonconforming parts out of approximately 35,000 components produced per month (1.8%). The available post-implementation monitoring period covered five months and 175,000 inspected parts, with no documented escapes of the targeted defect. With zero observed events, the one-sided 95% exact binomial upper confidence limit was approximately 0.0017% (17.1 ppm). Direct timing of 30 positioning, verification, and release cycles using the Poka-Yoke yielded a mean cycle time of 54.91 ± 2.79 s/cycle (95% CI: 53.87–55.95 s; range: 50.11–60.53 s).

The attribute-based R&R validation involved 200 reference parts (100 conforming and 100 with the critical hole intentionally absent), three operators, and two repetitions, resulting in 1,200 evaluations. The assessment yielded 591 true positives, 600 true negatives, nine false negatives, and no false positives, corresponding to an overall sensitivity of 98.50%, specificity of 100.00%, accuracy of 99.25%, false-negative rate of 1.50%, and false-positive rate of 0.00%. The device required an initial investment of approximately MXN 2,000, compared with an estimated annual cost of MXN 100,000 for additional manual inspection. Under the stated assumptions, the first-year simple return on investment (ROI) was 4,900%, with a payback period of 0.02 years.

KEYWORDS: metal stamping, Poka-Yoke, defect prevention, Lean Manufacturing, quality assurance.

INTRODUCCIÓN

La transformación de la manufactura impulsada por Industria 4.0 ha situado a la calidad como un factor estratégico en sectores con elevados requerimientos de precisión. Los sistemas ciberfísicos, el Internet Industrial de las Cosas, la inteligencia artificial y la analítica de datos han favorecido la transición desde esquemas reactivos hacia estrategias predictivas y preventivas. En este marco, Quality 4.0 integra tecnologías digitales con metodologías consolidadas de gestión y mejora, sin sustituir los principios clásicos de la ingeniería de calidad (Antony, McDermott, et al., 2022; Antony, Sony, et al., 2022; Brandenburger et al., 2020; Souza et al., 2022).

CC BY NC ND

Zero Defect Manufacturing (ZDM) propone prevenir y detectar tempranamente las desviaciones para evitar que el producto no conforme avance dentro del sistema productivo. Este enfoque combina estrategias de prevención, inspección y control con decisiones basadas en datos, y resulta especialmente pertinente cuando un modo de falla específico puede generar reclamaciones o retrabajos (Gal et al., 2024; Hossain & Purdy, 2024; Pachimuthu et al., 2024; Powell et al., 2022; Psarommatis et al., 2024).

Lean Manufacturing y Poka-Yoke

Lean Manufacturing mantiene vigencia como marco para reducir desperdicios, estabilizar procesos y fortalecer la mejora continua. Dentro de sus herramientas, Poka-Yoke busca prevenir errores humanos o hacerlos inmediatamente detectables mediante restricciones físicas, guías, sensores o verificaciones integradas. Su valor radica en trasladar el control desde la inspección final hacia el punto donde se origina o puede interceptarse el defecto (Widjajanto et al., 2020).

Aunque la literatura reciente presta creciente atención a visión artificial, aprendizaje automático e inspección inteligente, las soluciones mecánicas continúan siendo pertinentes cuando el defecto puede discriminarse mediante una característica geométrica. Para pequeñas y medianas empresas, estos dispositivos pueden representar una alternativa de menor inversión y complejidad, siempre que su desempeño se documente mediante criterios reproducibles de detección, repetibilidad y confiabilidad.

Quality 4.0 y manufactura metalmecánica

Quality 4.0 articula la gestión de la calidad con tecnologías digitales y prácticas organizacionales orientadas a la toma de decisiones basada en evidencia. Las aplicaciones de inteligencia artificial han ampliado la capacidad de inspección visual y clasificación de anomalías; sin embargo, su adopción requiere infraestructura, competencias y recursos que no siempre están disponibles en todos los entornos productivos (Antony, McDermott, et al., 2023; Antony, Sony, et al., 2023; Hernández Chávez & Hernández Chávez, 2024; Hoffmann & Reich, 2023; Markatos & Mousavi, 2023; Saihi et al., 2023; Sony et al., 2020, 2021).

En procesos metalmecánicos, la prevención de defectos geométricos sigue dependiendo de una adecuada selección del punto de control, la estandarización de la operación y la capacidad del sistema para impedir el avance de piezas fuera de especificación. Por ello, la integración de un Poka-Yoke mecánico con prácticas Lean y criterios de ZDM constituye una alternativa compatible con una evolución gradual hacia Quality 4.0.

JUSTIFICACIÓN

La prevención de defectos en procesos de estampado metálico constituye una necesidad técnica y económica cuando una característica geométrica crítica puede originar rechazo interno, retrabajo, reclamaciones del cliente o interrupciones en el flujo productivo. Aunque los enfoques contemporáneos de Zero Defect Manufacturing (ZDM) y Quality 4.0 promueven la prevención temprana, la captura de datos y el uso progresivo de tecnologías digitales, su aplicación no implica que toda solución de aseguramiento de la calidad deba sustentarse en sistemas complejos o de elevada inversión. Para modos de falla claramente identificables mediante contacto, posicionamiento o interferencia física, un mecanismo Poka-Yoke puede trasladar la verificación al punto de origen y fortalecer la calidad en la fuente con menor complejidad tecnológica (Powell et al., 2022; Psarommatis et al., 2024; Widjajanto et al., 2020).

CC BY NC ND

En este contexto, la literatura ofrece marcos consolidados sobre ZDM, digitalización y Quality 4.0, pero es menor la evidencia de implementaciones mecánicas de bajo costo evaluadas sistemáticamente en condiciones industriales reales. Esta brecha es relevante para organizaciones que requieren incrementar la confiabilidad del proceso sin depender exclusivamente de visión artificial, inteligencia artificial o arquitecturas avanzadas de inspección. La literatura sobre Quality 4.0 reconoce que la transformación de la calidad combina capacidades tecnológicas con métodos de gestión y mejora ya establecidos, por lo que las soluciones físicas de prevención pueden constituir una base compatible con una evolución posterior hacia sistemas de monitoreo digital (Antony, McDermott, et al., 2022; Antony, Sony, et al., 2022; Souza et al., 2022).

El estudio se justifica, por tanto, en la necesidad de aportar evidencia industrial sobre un dispositivo mecánico orientado a prevenir la liberación de componentes con ausencia de un barreno crítico. Su contribución no se limita al diseño e instalación del mecanismo: integra el seguimiento del desempeño posterior, una validación R&R por atributos para cuantificar la capacidad de clasificación y la variación asociada con los operadores, la delimitación estadística de la ausencia de fugas observadas y una evaluación económica bajo supuestos explícitos. Esta combinación permite distinguir entre cobertura de inspección, eficacia de detección y comportamiento operacional, evitando interpretar la inspección del 100 % de las piezas como evidencia automática de detección perfecta.

Desde la perspectiva científica y aplicada, documentar conjuntamente el desempeño de detección, la repetibilidad, la trazabilidad de las discrepancias y la viabilidad económica fortalece la reproducibilidad del caso y facilita su análisis en otros componentes estampados con defectos geométricos comparables. Asimismo, vincula una solución de Error Proofing de baja complejidad con los principios de prevención de ZDM y con una trayectoria gradual hacia Quality 4.0, en la que la estandarización física del proceso puede preceder a la incorporación de sensores, captura automática de datos o analítica avanzada (Gal et al., 2024; Hossain & Purdy, 2024; Pachimuthu et al., 2024).

METODOLOGÍA

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, aplicado y preexperimental antes-después. La unidad de análisis fue el componente metálico X y la variable principal, la proporción de piezas con ausencia del barreno crítico. La línea base se obtuvo de los registros mensuales de producción y rechazo. La evaluación posterior consideró la inspección funcional de las piezas procesadas en la estación intervenida. Al no existir aleatorización ni grupo control, los cambios se interpretaron como asociados temporalmente con la intervención y no como una estimación causal aislada.

Procedimiento

La intervención se desarrolló en el área de Calidad, en coordinación con Producción e Ingeniería. El diagnóstico integró observación directa, registros de rechazo y reclamaciones, diagrama de Ishikawa, AMEF y Plan de Control. Con base en el modo de falla identificado, se diseñó en SolidWorks y fabricó mediante maquinado CNC un dispositivo mecánico Poka-Yoke, instalado en la estación de machueleado. El operador verifica individualmente la presencia del barreno crítico mediante el acoplamiento geométrico de cada componente; las piezas aceptadas pasan al roscado y las no conformes se segregan antes de esa operación. La inspección de la calidad de la rosca no formó parte de la validación específica del dispositivo. Posteriormente se actualizaron las instrucciones de trabajo y se capacitó al personal responsable.

CC BY NC ND

Validación estadística y operacional

El seguimiento post-implementación disponible comprendió cinco meses y 175,000 piezas inspeccionadas. No se documentaron fugas del defecto de ausencia de barreno durante ese periodo. Dado que observar cero eventos no demuestra una tasa poblacional nula, se calculó el límite superior binomial exacto unilateral del 95 %, que para n = 175,000 es aproximadamente 0.0017 % (17.1 ppm). La cobertura del 100 % de las piezas se diferenció de la eficacia de clasificación del dispositivo.

Para evaluar el desempeño de detección y la variación asociada con el operador se realizó un estudio R&R por atributos con 200 piezas patrón, integrado por 100 componentes conformes y 100 con ausencia del barreno crítico, presentadas en orden aleatorio. Tres operadores evaluaron independientemente el conjunto en dos repeticiones, generando 1,200 evaluaciones. Cada resultado se clasificó como verdadero positivo (VP), verdadero negativo (VN), falso positivo (FP) o falso negativo (FN). La sensibilidad se calculó como VP/(VP+FN), la especificidad como VN/(VN+FP), la exactitud como (VP+VN)/N, y las tasas de falsos negativos y positivos como FN/(VP+FN) y FP/(VN+FP), respectivamente. En la primera repetición se registraron 1, 2 y 1 falsos negativos para los operadores 1, 2 y 3; en la segunda repetición se observaron 2, 2 y 1, respectivamente. No se registraron falsos positivos.

La prensa mecánica operó nominalmente a 120 golpes por minuto. Bajo el supuesto de una pieza por golpe, ello equivale a 0.50 s/pieza y a 7,200 piezas/h exclusivamente para el estampado, sin representar el rendimiento observado de la línea. Las 2 h 30 min consignadas en el proyecto corresponden a la fabricación del dispositivo, no a la inspección. El tiempo de verificación se obtuvo mediante cronometraje directo de 30 ciclos consecutivos de posicionamiento, comprobación y liberación de una pieza, sin incluir el machueleado. Se calcularon media, desviación estándar muestral, intervalo de confianza del 95 % de la media con t de Student (n = 30; gl = 29) y valores extremos.

Criterios de medición y trazabilidad

La variable de respuesta principal fue la liberación de piezas con ausencia del barreno crítico. Para mantener trazabilidad, los registros se organizaron en dos niveles: producción rutinaria y validación funcional. El primero permitió cuantificar el volumen procesado y las fugas documentadas durante el seguimiento; el segundo se orientó a comprobar la respuesta del dispositivo frente a piezas patrón conocidas. Esta separación es necesaria porque la ausencia de reclamaciones en producción no sustituye una prueba controlada de clasificación.

En la validación funcional, una pieza sin barreno correctamente bloqueada se clasifica como verdadero positivo, mientras que una pieza defectuosa aceptada constituye un falso negativo. Una pieza conforme aceptada se registra como verdadero negativo y una pieza conforme bloqueada como falso positivo. Con esta matriz se obtienen sensibilidad, especificidad y exactitud. Para un defecto crítico, el falso negativo representa el evento de mayor relevancia, ya que corresponde a una pieza no conforme que podría continuar hacia operaciones posteriores.

La repetibilidad se examinó mediante dos series consecutivas bajo condiciones equivalentes de operación. La exactitud global fue de 99.33 % en la repetición 1 y 99.17 % en la repetición 2, una diferencia de 0.16 puntos porcentuales. Por operador, la concordancia global con el estándar fue de 99.25 % para el operador 1, 99.00 % para el operador 2 y 99.50 % para el operador 3. La hoja de validación conservó la identificación de la pieza, el resultado esperado, el resultado observado, el operador y la repetición, permitiendo la trazabilidad de las discrepancias.

CC BY NC ND

La confiabilidad operacional se evaluó durante cinco meses mediante el registro mensual de cuatro categorías: fallas del dispositivo, paros atribuibles al Poka-Yoke, ajustes no programados e intervenciones de mantenimiento correctivo. Para cada indicador se obtuvieron el total acumulado, la media mensual y la desviación estándar muestral. Como medida complementaria de precisión se calculó el IC95 % de la media mediante t de Student (n = 5; gl = 4). Debido al reducido número de observaciones mensuales y a la naturaleza discreta de los conteos, estos estadísticos se interpretaron con finalidad descriptiva. La confiabilidad operacional se mantuvo conceptualmente separada de la exactitud de clasificación, ya que la primera describe la continuidad funcional del mecanismo y la segunda su capacidad para distinguir piezas conformes y no conformes.

Para el análisis temporal se distinguieron tres magnitudes de diferente procedencia: (i) el ciclo nominal de estampado, derivado de la velocidad de prensa y del supuesto de una pieza por golpe; (ii) el tiempo de verificación Poka-Yoke, medido directamente en 30 ciclos; y (iii) el tiempo aproximado de machueleado de 180 s/pieza, aportado como estimación operativa, sin cronometraje documentado. Solo para una secuencia de verificación y roscado realizada por un operador, sin solapamientos, esperas ni tareas auxiliares, se calculó un ciclo combinado estimado mediante la suma de los dos últimos tiempos y su capacidad teórica recíproca. La capacidad efectiva de producción no se estimó por carecer de datos sobre estaciones paralelas, disponibilidad y flujo real.

Análisis económico

La evaluación económica utilizó una inversión inicial aproximada de $2,000 MXN y un costo anual estimado de $100,000 MXN para un inspector adicional. El análisis supone que dicho costo sería completamente evitable con el dispositivo, que éste opera durante un año sin costos incrementales relevantes de mantenimiento, capacitación, energía o reposición, y que no se consideran impuestos, inflación, tasa de descuento, valor residual ni variaciones de producción. Por tanto, los resultados corresponden a un escenario simple y no a un flujo de efectivo descontado como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis económico

Concepto			Valor
Costo de fabricación del dispositivo Poka-Yoke			$2000 MXN
Costo anual evitado por inspección manual adicional			$100,000 MXN/año
Beneficio económico anual			$100,000 MXN
Tiempo	**Beneficio acumulado**	**Beneficio neto***	
1 año	$100,000 MXN	$98,000 MXN	
3 años	$300,000 MXN	$298,000 MXN	
5 años	$500,000 MXN	$498,000 MXN	

Consideraciones metodológicas

La metodología integra Lean Manufacturing, Error Proofing y Zero Defect Manufacturing en un entorno industrial real. Su alcance se limita a un número de parte y a un diseño preexperimental; por ello, la generalización requiere replicación en otras familias de componentes y periodos de seguimiento independientes. (Powell et al., 2022; Widjajanto et al., 2020).

CC BY NC ND

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Condición inicial e implementación

El diagnóstico identificó la ausencia del barreno como el defecto crítico asociado con las reclamaciones del cliente. Los registros mostraron aproximadamente 35,000 piezas mensuales y 630 no conformes, por lo que la proporción correcta es 630/35,000 = 0.018, equivalente a 1.8 %. El dispositivo se instaló en la estación de machueleado como verificación obligatoria antes de continuar el flujo productivo, trasladando el control desde una revisión posterior hacia una prevención integrada en la operación como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Ausencia del barreno como el defecto crítico

Indicador	Valor
Producción mensual	35,000 piezas
Producto no conforme	630 piezas
Porcentaje de producto no conforme	1.8 %
Defecto predominante	Ausencia de barreno

Desempeño operacional y de detección

Durante cinco meses de seguimiento se inspeccionaron 175,000 piezas y no se documentaron fugas del defecto específico. El resultado observado fue 0/175,000; sin embargo, se evita expresarlo como una tasa poblacional demostrada de 0 %. El límite superior binomial exacto unilateral del 95 % fue aproximadamente 17.1 ppm. De forma complementaria, la validación controlada R&R por atributos generó 1,200 evaluaciones y obtuvo 591 VP, 600 VN, 9 FN y 0 FP. La sensibilidad global fue de 98.50 %, la especificidad de 100.00 % y la exactitud de 99.25 %, con tasas de falsos negativos y falsos positivos de 1.50 % y 0.00 %, respectivamente. Estos resultados diferencian la cobertura del 100 % de la producción de la capacidad real de clasificación del dispositivo como se observan en las Tablas 3 y 4. El cronometraje de 30 ciclos de verificación registró una media de 54.91 s/ciclo (DE = 2.79 s; IC95 %: 53.87–55.95 s), con valores entre 50.11 y 60.53 s. El promedio observado fue 0.16 % inferior al valor de referencia de 55 s utilizado en la hoja de medición, por lo que no se observó un incremento medio respecto de dicha referencia.

Tabla 3. Matriz de clasificación y desempeño por operador

Indicador	Operador 1	Operador 2	Operador 3	Global
VP	197	196	198	591
VN	200	200	200	600
FP	0	0	0	0
FN	3	4	2	9
Sensibilidad (%)	98.50	98.00	99.00	98.50
Especificidad (%)	100.00	100.00	100.00	100.00
Exactitud (%)	99.25	99.00	99.50	99.25
Tasa FP (%)	0.00	0.00	0.00	0.00
Tasa FN (%)	1.50	2.00	1.00	1.50

Tabla 4. Resultados del estudio R&R por atributos

Evaluador	R1 correctas	R1 exactitud	R2 correctas	R2 exactitud	Total, correctas	Concordancia
Operador 1	199/200	99.50 %	198/200	99.00 %	397/400	99.25 %
Operador 2	198/200	99.00 %	198/200	99.00 %	396/400	99.00 %
Operador 3	199/200	99.50 %	199/200	99.50 %	398/400	99.50 %
Global	596/600	99.33 %	595/600	99.17 %	1,191/1,200	99.25 %

CC BY NC ND

La exactitud por operador fue de 99.25 %, 99.00 % y 99.50 % para los operadores 1, 2 y 3, respectivamente. La sensibilidad osciló entre 98.00 % y 99.00 %, mientras que la especificidad permaneció en 100.00 %. La diferencia de 0.16 puntos porcentuales entre las exactitudes globales de R1 y R2 muestra estabilidad entre repeticiones. Los nueve falsos negativos observados entre 600 evaluaciones de piezas sin barreno representan una tasa global de 1.50 %; por tratarse del error crítico del sistema, este resultado indica que la capacidad de detección es elevada, pero no perfecta Tabla 5.

Tabla 5. Seguimiento de inspección

Indicador	Antes	Después
Inspección en la operación crítica	No sistemática	100 %
Detección de ausencia de barreno	Parcial	Sensibilidad 98.50 %; especificidad 100.00 %; exactitud 99.25 %
Liberación de piezas con defecto	Presente	0 fugas documentadas en 175,000 piezas durante cinco meses de seguimiento
Detección de deformaciones	Limitada	Integrada al sistema de verificación

Tabla 6. Confiabilidad operacional del dispositivo Poka-Yoke

Indicador	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Total	Media ± DE	IC95 % media
Fallas del dispositivo	18	13	12	8	3	54	10.80 ± 5.63	3.81–17.79
Paros atribuibles al Poka-Yoke	10	8	5	3	1	27	5.40 ± 3.65	0.87–9.93
Ajustes no programados	5	3	2	1	0	11	2.20 ± 1.92	No estimado*
Mantenimiento correctivo	5	3	1	0	0	9	1.80 ± 2.17	No estimado*
Total, de incidencias	38	27	20	12	4	101	20.20 ± 13.16	3.86–36.54

*Los IC95 % de ajustes no programados y mantenimiento correctivo se omitieron porque el intervalo simétrico basado en t produciría límites inferiores negativos, incompatibles con conteos de eventos no negativos. Para estos indicadores se conservan los estadísticos descriptivos (media y desviación estándar). *Durante los cinco meses se registraron 54 fallas del dispositivo, 27 paros atribuibles al Poka-Yoke, 11 ajustes no programados y nueve intervenciones de mantenimiento correctivo. En conjunto se documentaron 101 incidencias operacionales (20.20 ± 13.16 eventos/mes). La frecuencia total disminuyó progresivamente de 38 eventos en el primer mes a 27, 20, 12 y cuatro en los meses subsecuentes. La diferencia entre el primer y quinto mes representa una reducción descriptiva del 89.5 %. Las fallas disminuyeron de 18 a tres y los paros de diez a uno; en el quinto mes no se registraron ajustes no programados ni mantenimiento correctivo. Esta evolución es compatible con una estabilización operacional progresiva durante el periodo observado, sin que el diseño preexperimental permita atribuir causalidad ni afirmar confiabilidad absoluta.*

Impacto en la calidad y operación

En la estación intervenida, cada componente se comprueba con el Poka-Yoke antes del machueleado; únicamente las piezas que satisfacen el criterio geométrico continúan al roscado. En 30 verificaciones se midió un promedio de 54.91 ± 2.79 s/pieza (IC95 %: 53.87–55.95 s). En cambio, los 180 s/pieza de machueleado constituyen una estimación operativa no cronometrada. Bajo el supuesto explícito de ejecución secuencial por un solo operador, sin solapamientos ni tiempos auxiliares, ambos valores conducen a un ciclo combinado estimado de 234.91 s/pieza (3.92 min/pieza) y a una capacidad teórica de 15.33 piezas/h; la verificación representaría el 23.38 % de ese tiempo. La velocidad nominal de la prensa (120 golpes/min) describe otra operación y no permite inferir el rendimiento de la estación ni de la línea. Se requieren mediciones del ciclo integral, disponibilidad, estaciones paralelas, inventario intermedio y producción efectiva por turno para evaluar el impacto real sobre la productividad.

Evaluación económica

La inversión aproximada de $2,000 MXN se comparó con el escenario de incorporar un inspector adicional por $100,000 MXN anuales. Bajo el supuesto de que este costo sería totalmente evitable

CC BY NC ND

y sin incluir mantenimiento, capacitación, energía, inflación, impuestos ni valor temporal del dinero, el ROI simple del primer año es [(100,000-2,000)/2,000]×100 = 4,900 %, mientras que el periodo de recuperación es 2,000/100,000 = 0.02 años, aproximadamente 7.3 días calendario. Estos indicadores describen un escenario de decisión condicionado y no un ahorro contable observado como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Escenario de incorporación de un inspector

Concepto	Valor
Inversión del dispositivo Poka-Yoke	$2000 MXN
Costo estimado de un inspector (anual)	$100000 MXN
Tipo de inversión	Única
Beneficio esperado	Prevención y reducción de riesgo de liberación del defecto

Relación con Lean Manufacturing y Error Proofing

La incorporación del dispositivo en la propia estación responde al principio Lean de calidad en la fuente. En lugar de depender de una inspección posterior, la condición geométrica se verifica antes de que el componente continúe, lo que disminuye la posibilidad de generar actividades sin valor agregado asociadas con segregación, retrabajo, devolución o análisis de reclamaciones. El mecanismo también favorece la estandarización porque transforma un criterio visual susceptible a variación del operador en una condición física de aceptación o rechazo.

Desde Error Proofing, el valor de la solución no reside únicamente en detectar una pieza incorrecta, sino en limitar físicamente su avance. Esta característica diferencia al Poka-Yoke de una inspección convencional: la respuesta se integra al método de trabajo y reduce la dependencia de la memoria o atención del operador. No obstante, la eficacia del dispositivo debe comprobarse periódicamente, ya que desgaste, holguras, contaminación o ajustes incorrectos pueden modificar su respuesta a lo largo del tiempo.

Implicaciones para Quality 4.0

La solución mecánica puede considerarse una etapa de madurez previa a una arquitectura digital más compleja. La información generada por la validación, conteos de piezas, clasificación VP-VN-FP-FN, eventos de falla y tiempos, constituye una base que posteriormente puede digitalizarse mediante sensores, captura automática o tableros de seguimiento. De este modo, la contribución del Poka-Yoke no se contrapone a Quality 4.0; proporciona una condición de proceso estandarizada sobre la cual pueden incorporarse tecnologías de monitoreo y analítica.

Esta perspectiva es relevante para organizaciones que requieren mejorar la calidad con restricciones de inversión. La adopción gradual permite priorizar primero la eliminación física de un modo de falla y, cuando el riesgo o el volumen lo justifiquen, incorporar tecnologías de inspección automática. La decisión debe sustentarse en el costo de no calidad, la criticidad del defecto, la estabilidad del proceso y la capacidad de mantener la solución a lo largo de su vida útil.

Alcance y reproducibilidad

La reproducibilidad del estudio depende de describir con claridad el defecto objetivo, el punto de inspección, la lógica de aceptación, el volumen observado y los criterios de validación. El procedimiento utilizado puede transferirse a otros componentes estampados siempre que exista una característica geométrica susceptible de ser comprobada mediante contacto, posicionamiento o interferencia controlada. No obstante, las dimensiones del dispositivo, tolerancias y frecuencia de verificación deben ajustarse a cada número de parte.

CC BY NC ND

El diseño antes-después aporta evidencia práctica del cambio observado, pero no controla simultáneamente todas las fuentes de variación. Cambios de lote, herramienta, operador, materia prima o mantenimiento pueden coincidir con la intervención. Por ello, el estudio evita atribuir causalidad absoluta y concentra sus conclusiones en la asociación temporal entre la implementación del Poka-Yoke y la ausencia de fugas documentadas durante el seguimiento. Esta delimitación mejora la consistencia entre el método, los resultados y las conclusiones.

Discusión con la literatura

Los hallazgos son congruentes con Widjajanto et al. (2020), quienes describen Poka-Yoke como una estrategia de prevención de errores compatible con Industria 4.0. Asimismo, el traslado de la detección hacia la fuente coincide con los principios de Zero Defect Manufacturing expuestos por Powell et al. (2022) y Psarommatis et al. (2024). A diferencia de enfoques centrados en visión artificial o analítica avanzada, el caso muestra que una solución mecánica puede atender un modo de falla específico con baja inversión, aunque su desempeño debe interpretarse dentro de los límites del diseño preexperimental.

La contribución del estudio consiste en relacionar tres evidencias diferentes: los registros de producción permiten describir las fugas documentadas; las pruebas controladas con piezas patrón cuantifican los errores de clasificación; y el seguimiento de incidencias caracteriza el funcionamiento del mecanismo. Su convergencia fortalece la evaluación del control, pero ninguna fuente sustituye a las otras ni demuestra por sí sola ausencia permanente de defectos.

La disminución de incidencias durante los cinco meses es compatible con una estabilización operacional progresiva, aunque el diseño sin grupo control impide establecer una relación causal. Los registros de fallas y paros describen la continuidad operativa del mecanismo, mientras que las pruebas con piezas patrón cuantifican su capacidad de clasificación. En cuanto al desempeño temporal, los 54.91 s/ciclo corresponden a una verificación medida directamente; los 180 s/pieza de machueleado son una estimación operativa sin cronometraje documentado. Por ello, el ciclo combinado de 234.91 s/pieza es exclusivamente teórico bajo ejecución secuencial y no permite determinar la productividad efectiva. Para evaluar su impacto sobre el flujo real se requieren mediciones del roscado y del ciclo integral, así como registros de producción por turno y disponibilidad de la estación.

Interpretación de los resultados

La inspección de toda la producción no equivale a detección perfecta: los falsos negativos de la prueba controlada justifican comprobaciones periódicas con piezas patrón y seguimiento de discrepancias por operador.

La velocidad nominal de la prensa corresponde exclusivamente al estampado, mientras que el tiempo de verificación caracteriza una operación posterior; por ello, ambos indicadores no permiten inferir la productividad global sin mediciones integrales del flujo productivo. De igual manera, el ROI y el periodo de recuperación se basan en el supuesto de evitar el costo de inspección manual adicional y no constituyen ahorros contables comprobados. La productividad efectiva y el beneficio económico real requieren validación mediante registros operativos y financieros de planta.

CONCLUSIONES

La implementación del Poka-Yoke permitió integrar la prevención del defecto en la fuente. La línea base fue de 630 piezas no conformes en aproximadamente 35,000 componentes mensuales (1.8

CC BY NC ND

%). En el seguimiento post-implementación de cinco meses y 175,000 piezas no se documentaron fugas del defecto de ausencia de barreno; el límite superior binomial unilateral del 95 % para cero eventos fue aproximadamente 17.1 ppm, por lo que el resultado se interpreta como ausencia de fugas observadas y no como una tasa poblacional absoluta de 0 %.

El cronometraje de 30 verificaciones individuales registró 54.91 ± 2.79 s/ciclo (IC95 %: 53.87–55.95 s), mientras que los 180 s/pieza atribuidos al machueleado son una estimación operativa. Su suma, 234.91 s/pieza, y la capacidad teórica derivada de 15.33 piezas/h solo son aplicables bajo ejecución secuencial sin solapamientos ni tiempos auxiliares; no representan productividad medida. La velocidad nominal de estampado de 120 golpes/min corresponde a una etapa distinta. En la validación R&R por atributos se efectuaron 1,200 evaluaciones con 200 piezas patrón, tres operadores y dos repeticiones: 591 verdaderos positivos, 600 verdaderos negativos, nueve falsos negativos y ningún falso positivo. La sensibilidad fue de 98.50 %, la especificidad de 100.00 % y la exactitud de 99.25 %. Por tanto, la cobertura de inspección del 100 % no equivale a detección infalible.

La evaluación de confiabilidad operacional registró 54 fallas del dispositivo, 27 paros atribuibles al Poka-Yoke, 11 ajustes no programados y nueve intervenciones de mantenimiento correctivo durante cinco meses. Las incidencias totales disminuyeron de 38 en el primer mes a cuatro en el quinto, equivalente a una reducción descriptiva del 89.5 %. En el último mes se registraron tres fallas, un paro y ningún ajuste no programado ni mantenimiento correctivo. La tendencia observada es consistente con una estabilización progresiva del dispositivo, sin implicar ausencia absoluta de fallas ni causalidad debido al carácter preexperimental del estudio.

El análisis económico mostró que, bajo los supuestos declarados, una inversión aproximada de $2,000 MXN frente a un costo anual estimado de $100,000 MXN para inspección adicional produce un ROI simple de 4,900 % y una recuperación de la inversión de 0.02 años. Estos valores deben interpretarse como un escenario económico condicionado y no como rentabilidad financiera ajustada por riesgo.

Como limitaciones, el estudio corresponde a un solo número de parte, carece de grupo control y depende de registros industriales. Se recomienda replicar la evaluación en otras familias de componentes, ampliar el seguimiento longitudinal y mantener de forma sistemática los conteos de la matriz de detección, las repeticiones funcionales, los tiempos de verificación y los registros de paros, ajustes, fallas y mantenimiento. Estas acciones permitirán fortalecer la validez externa y facilitar futuras integraciones con sensores o visión artificial.

REFERENCIAS

Antony, J., McDermott, O., & Sony, M. (2022). Quality 4.0 conceptualisation and theoretical understanding: a global exploratory qualitative study. The TQM Journal, 34(5), 1169–1188. https://doi.org/10.1108/TQM-07-2021-0215

Antony, J., McDermott, O., Sony, M., Toner, A., Bhat, S., Cudney, E., & Doulatabadi, M. (2023). Benefits, challenges, critical success factors and motivations of Quality 4.0: A qualitative global study. Total Quality Management & Business Excellence, 34(7–8), 827–846. https://doi.org/10.1080/14783363.2022.2113737

Antony, J., Sony, M., Furterer, S., McDermott, O., & Pepper, M. (2022). Quality 4.0 and its impact on organizational performance: An integrative viewpoint. The TQM Journal, 34(6), 2069–2084. https://doi.org/10.1108/TQM-08-2021-0242

Antony, J., Sony, M., McDermott, O., Jayaraman, R., & Flynn, D. (2023). An exploration of organizational readiness factors for Quality 4.0: An intercontinental study and future research directions. International Journal of Quality & Reliability Management, 40(2), 582–606. https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2021-0357

Brandenburger, J., Schirm, C., Melcher, J., Hancke, E., Vannucci, M., Colla, V., Cateni, S., Sellami, R., Dupont, S., Majchrowski, A., & Arteaga, A. (2020). Quality4.0—Transparent product quality supervision in the age of Industry 4.0. arXiv. https://arxiv.org/abs/2011.06502

Gal, B., Madreiter, T., Scheder, N., Liesinger, E., Hold, P., & Schlund, S. (2024). Expanding the boundaries of Zero-Defect Manufacturing: A systematic literature review. Procedia CIRP, 122, 336–341. https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.050

Hernández Chávez, G., & Hernández Chávez, Y. (2024). ¿Qué es la Calidad 4.0? Una revisión de la literatura. Ingeniería Industrial, 46, 129–149. https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6890

Hoffmann, R., & Reich, C. (2023). A systematic literature review on artificial intelligence and explainable artificial intelligence for visual quality assurance in manufacturing. Electronics, 12(22), 4572. https://doi.org/10.3390/electronics12224572

Hossain, M. M., & Purdy, G. (2024). Role of Industry 4.0 in zero-defect manufacturing: A systematic literature review and a conceptual framework for future research directions. Manufacturing Letters, 41, 1696–1707. https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2024.09.197

Markatos, N. G., & Mousavi, A. (2023). Manufacturing quality assessment in the industry 4.0 era: A review. Total Quality Management & Business Excellence, 34(13–14), 1655–1681. https://doi.org/10.1080/14783363.2023.2194524

Pachimuthu, D., Pinzone, M., & Taisch, M. (2024). Assessing Zero-Defect Manufacturing maturity: A review of the state of the art. IFAC-PapersOnLine, 58(19), 899–904. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.167

Powell, D., Magnanini, M. C., Colledani, M., & Myklebust, O. (2022). Advancing Zero Defect Manufacturing: A state-of-the-art perspective and future research directions. Computers in Industry, 136, 103596. https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103596

Psarommatis, F., May, G., & Azamfirei, V. (2024). Zero defect manufacturing in 2024: A holistic literature review for bridging the gaps and forward outlook. International Journal of Production Research, 64(17), 7395–7431. https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2388217

Saihi, A., Awad, M. M., & Ben-Daya, M. (2023). Quality 4.0: Leveraging Industry 4.0 technologies to improve quality management practices—a systematic review. International Journal of

CC BY NC ND

Quality & Reliability Management, 40(2), 628–650. https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2021-0305

Sony, M., Antony, J., & Douglas, J. A. (2020). Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0: A narrative review of literature and future directions for research. The TQM Journal, 32(4), 779–793. https://doi.org/10.1108/TQM-12-2019-0275

Sony, M., Antony, J., Douglas, J. A., & McDermott, O. (2021). Motivations, barriers and readiness factors for Quality 4.0 implementation: An exploratory study. The TQM Journal, 33(6), 1502–1515. https://doi.org/10.1108/TQM-11-2020-0272

Souza, F. F., Corsi, A., Pagani, R. N., Balbinotti, G., & Kovaleski, J. L. (2022). Total Quality Management 4.0: Adapting quality management to Industry 4.0. The TQM Journal, 34(4), 749–769. https://doi.org/10.1108/TQM-10-2020-0238

Widjajanto, S., Purba, H. H., & Jaqin, S. C. (2020). Novel Poka-Yoke approaching toward Industry 4.0: A literature review. Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications, 3(3), 65–83. https://doi.org/10.31181/oresta20303065w

CC BY NC ND

El cine-foro como motor de transformación cultural en la formación de ingenieros

The film forum as a driver of cultural transformation in engineering education

María Margarita Cantú Villarreal [1]
Arnulfo Treviño Cubero [2]
Jaime Arturo Castillo Elizondo [3]
María Blanca Elizabeth Palomares Ruiz [4]

RESUMEN

La formación del ingeniero contemporáneo exige integrar competencias técnicas con habilidades críticas y sociales; sin embargo, persiste el desafío de consolidar estrategias que generen transformación cultural en contextos predominantemente técnicos. A partir de un estudio previo que evidenció que el cine-foro favorece el pensamiento crítico mediante el análisis colectivo de narrativas audiovisuales, la presente investigación analiza su consolidación como práctica institucional permanente en la Biblioteca de una dependencia de educación superior del noreste de México. El estudio se desarrolló bajo un diseño descriptivo con enfoque mixto, no experimental y transversal, durante el semestre agosto–diciembre 2025, mediante la aplicación de 72 encuestas post-sesión con ítems tipo Likert y preguntas abiertas. Los resultados muestran altos niveles de satisfacción, intención de continuidad y recomendación del programa, así como interés por la exploración cultural posterior. El análisis cualitativo evidenció creación de comunidad y resignificación del espacio bibliotecario como entorno activo de diálogo. Se concluye que el cine-foro ha evolucionado de estrategia pedagógica a dispositivo cultural con incidencia institucional, fortaleciendo la formación integral del ingeniero.

.

PALABRAS CLAVES: pensamiento crítico, cine-foro, transformación cultural, formación de ingenieros.

Fecha de recepción: 13 de agosto, 2026.

Fecha de aceptación: 15 de octubre, 2026.

[1] Profesor de Tiempo Completo. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. maria.cantuvr@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0003-4099-4652
[2] Profesor de Tiempo Completo. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. arnulfo.trevinoc@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-0958-8352
[3] Profesor de Tiempo Completo. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. jaime.castilloe@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-2100-3115
[4] Profesor de Tiempo Completo. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. maria.palomaresrz@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-4079-6969

CC BY NC ND

ABSTRACT

The training of contemporary engineers requires integrating technical competencies with critical and social skills; however, the challenge remains of consolidating strategies that generate cultural transformation in predominantly technical contexts. Based on a previous study that demonstrated that film forums foster critical thinking through the collective analysis of audiovisual narratives, this research analyzes its consolidation as a permanent institutional practice in the library of a higher education institution in northeastern Mexico. The study was conducted using a descriptive, mixed-methods, non-experimental, and cross-sectional design during the August–December 2025 semester, through the application of 72 post-session surveys with Likert-type items and open-ended questions. The results show high levels of satisfaction, intention to continue participating, and recommendation of the program, as well as interest in subsequent cultural exploration. The qualitative analysis revealed the creation of a community and the redefinition of the library space as an active environment for dialogue. It is concluded that film forums have evolved from a pedagogical strategy to a cultural tool with institutional impact, strengthening the comprehensive training of engineers.

KEYWORDS: critical thinking, film forum, cultural transformation, engineering training.

INTRODUCCIÓN

La formación del ingeniero contemporáneo enfrenta el desafío de trascender el enfoque tradicionalmente técnico para integrar competencias críticas, éticas y sociales que respondan a las complejidades del entorno actual. A pesar del consenso sobre la importancia de una educación integral, las instituciones de educación superior a menudo enfrentan resistencias institucionales y culturales para implementar estrategias que equilibren el desarrollo de habilidades técnicas y no técnicas. En este escenario, resulta imperativo explorar y sostener prácticas formativas innovadoras que articulen la sensibilidad social con el análisis reflexivo.

Como respuesta a esta necesidad, un estudio previo (Cantú et al., 2025) desarrollado en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica evidenció que el cine-foro funciona como una herramienta pedagógica eficaz para detonar el pensamiento crítico. Mediante la discusión grupal y la contextualización de narrativas audiovisuales, los estudiantes lograron vincular el arte con el análisis social. No obstante, ante el éxito de dicha intervención, surgió la necesidad de examinar si esta estrategia podía trascender su impacto cognitivo inicial para consolidarse institucionalmente y generar una auténtica transformación cultural en el entorno académico.

En este sentido, la presente investigación constituye una segunda fase de análisis orientada a evaluar la consolidación del cine-foro como práctica permanente dentro de la Biblioteca de la institución. A través de un diseño mixto y descriptivo implementado durante el semestre agosto-diciembre 2025, el estudio evalúa el impacto experiencial, cultural e institucional del Taller de Pensamiento Crítico. Al examinar variables como la satisfacción estudiantil, la generación de comunidad, la exploración cultural posterior y la resignificación del espacio bibliotecario como un entorno activo de diálogo, este trabajo busca demostrar cómo una estrategia pedagógica puede evolucionar hacia un dispositivo cultural capaz de fortalecer la formación integral del ingeniero.

ANTECEDENTES

En un estudio previo desarrollado en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León, se analizó el cine-foro como herramienta para la reflexión

CC BY NC ND

crítica en la formación de ingenieros (Cantu et al., 2025). Los resultados evidenciaron que la discusión grupal, la contextualización histórico-cultural y la articulación entre arte y análisis social favorecían el desarrollo del pensamiento crítico en los estudiantes, destacando especialmente el valor del debate como espacio de construcción colectiva de conocimiento.

A partir de dichos hallazgos, surgió la necesidad de examinar la evolución del programa más allá de su dimensión pedagógica inicial. La continuidad del cine-foro mediante el Taller de Pensamiento Crítico implementado en la Biblioteca de la FIME, permitió observar no solo la persistencia de los efectos formativos, sino también procesos de consolidación institucional, generación de comunidad y resignificación del espacio bibliotecario.

En este sentido, la presente investigación constituye una segunda fase de análisis orientada a evaluar el impacto experiencial, cultural e institucional del cine-foro en su etapa de consolidación. El estudio amplía la perspectiva inicial centrada en el pensamiento crítico, incorporando dimensiones relacionadas con la satisfacción, la intención de continuidad, la exploración cultural posterior y la transformación simbólica del entorno académico.

Así, este trabajo busca comprender cómo una estrategia inicialmente concebida como herramienta pedagógica puede evolucionar hacia dispositivo cultural con capacidad de incidir en la dinámica universitaria, fortaleciendo la formación integral del ingeniero y reconfigurando el papel de la biblioteca como espacio de diálogo y aprendizaje activo.

Planteamiento del problema

La formación del ingeniero contemporáneo exige el desarrollo de competencias técnicas acompañadas de habilidades críticas y sociales. En un estudio previo desarrollado en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica se demostró que el cine-foro favorece el pensamiento crítico mediante el análisis colectivo de narrativas audiovisuales. No obstante, surgió la interrogante sobre si esta estrategia podía consolidarse institucionalmente y trascender su impacto cognitivo hacia una transformación cultural del entorno académico.

Objetivo general

Analizar la consolidación del cine-foro como estrategia formativa permanente y su impacto experiencial, cultural e institucional en la formación de ingenieros.

Objetivos específicos

- Evaluar la percepción de satisfacción y ambiente formativo.
- Analizar la intención de continuidad y recomendación del programa.
- Examinar la transformación percibida del espacio bibliotecario.
- Identificar evidencias de impacto cultural posterior.

Preguntas de investigación

- ¿Cómo impacta la consolidación del cine-foro en la experiencia formativa?
- ¿De qué manera influye en la generación de comunidad?
- ¿Cómo transforma la percepción del espacio bibliotecario?
- ¿Se evidencian efectos en hábitos culturales posteriores?

CC BY NC ND

MARCO TEÓRICO

El pensamiento crítico constituye una de las competencias transversales fundamentales en la educación superior contemporánea, particularmente en la formación de ingenieros, donde las decisiones técnicas poseen implicaciones sociales, éticas y ambientales de gran alcance. De acuerdo con Facione (1990), el pensamiento crítico implica un juicio autorregulado que permite analizar, evaluar e interpretar información de manera fundamentada. En el contexto universitario, esta competencia no solo favorece la resolución de problemas complejos, sino también la formación de profesionales capaces de cuestionar supuestos y analizar discursos.

En investigaciones previas desarrolladas en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, se demostró que el cine-foro constituye una estrategia eficaz para activar procesos de reflexión crítica a través del diálogo colectivo y la contextualización histórica de narrativas audiovisuales (Cantú et al., 2025). Sin embargo, el pensamiento crítico no se agota en el análisis puntual de una sesión, sino que puede proyectarse hacia dinámicas culturales más amplias cuando la práctica se consolida en el tiempo.

En un entorno caracterizado por la sobreexposición informativa y la circulación masiva de contenidos audiovisuales, la alfabetización mediática se convierte en una competencia esencial. Esta no se limita a la capacidad de acceder a información, sino que implica analizar críticamente mensajes, identificar sesgos, reconocer intencionalidades y construir interpretaciones propias frente a los medios.

El cine, como medio que integra imagen, narrativa, montaje y discurso simbólico, ofrece un escenario privilegiado para desarrollar estas habilidades. La experiencia cinematográfica, mediada por el debate estructurado del cine-foro, permite transformar el consumo pasivo en análisis activo, favoreciendo procesos de interpretación compartida y construcción colectiva de significados.

Cuando estas prácticas se institucionalizan en espacios académicos, contribuyen no solo al desarrollo cognitivo individual, sino también a la formación de comunidades de aprendizaje que dialogan críticamente sobre fenómenos sociales, culturales e históricos.

Tradicionalmente, la biblioteca universitaria ha sido concebida como un espacio de consulta silenciosa y almacenamiento de información. No obstante, los estándares internacionales contemporáneos proponen una redefinición de este espacio como centro de aprendizaje activo, colaboración y diálogo interdisciplinario.

La noción de biblioteca como ágora retoma el concepto clásico del espacio público de deliberación, donde convergen ideas, perspectivas y debates. En el contexto universitario, esta transformación implica pasar de un modelo pasivo de acceso a información a uno dinámico de generación de experiencias formativas.

La implementación sistemática del cine-foro dentro de la biblioteca representa un ejemplo concreto de esta reconceptualización, al convertir el espacio en escenario de discusión crítica, interacción comunitaria y apropiación cultural por parte de los estudiantes.

La consolidación de programas culturales dentro de facultades orientadas predominantemente a la formación técnica contribuye a integrar dimensiones humanísticas en el perfil profesional. Esta integración fortalece la sensibilidad social, la capacidad de diálogo y la comprensión contextual de los fenómenos tecnológicos.

CC BY NC ND

Cuando una estrategia pedagógica evoluciona hacia práctica permanente, se genera un proceso de transformación cultural que impacta no solo a los participantes directos, sino también a la dinámica institucional. La creación de comunidad, la recurrencia de participación y la modificación en la percepción del espacio académico son indicadores de esta transformación. En este sentido, analizar la consolidación del cine-foro permite comprender cómo una iniciativa inicialmente orientada al desarrollo del pensamiento crítico puede convertirse en dispositivo cultural que reconfigura el entorno formativo universitario.

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación examina la institucionalización del cine-foro en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, evidenciando su evolución de estrategia pedagógica a práctica cultural permanente. Los resultados permiten identificar efectos en la satisfacción, la intención de continuidad y la transformación del espacio bibliotecario como entorno de diálogo y comunidad. Así, el estudio aporta evidencia sobre la viabilidad de integrar estrategias culturales sostenibles en contextos de formación técnica, fortaleciendo la formación integral del ingeniero.

Contexto general

El estudio se llevó a cabo en la Biblioteca de una dependencia de estudios superiores al noreste de México, en el marco del Taller de Pensamiento Crítico implementado mediante la estrategia de cine-foro como servicio al estudiante. El programa registró más de 650 asistencias totales, con un promedio aproximado de 15 participantes recurrentes por semana. Las sesiones incluyeron proyección cinematográfica, distribución de material editorial (fanzines temáticos) y debate facilitado.

Limitaciones

Una de las principales limitaciones para impulsar la transformación cultural en la formación de ingenieros es la resistencia al cambio, presente tanto en el ámbito cultural como institucional. Tradicionalmente, los programas de ingeniería han privilegiado un enfoque técnico, lo que puede generar percepción de que competencias como el pensamiento crítico, la ética o la interdisciplinariedad son secundarias. Asimismo, los procesos de actualización curricular enfrentan barreras administrativas y cierta reticencia docente ante modificaciones metodológicas. Estos factores pueden ralentizar la innovación educativa y dificultar la consolidación de un modelo formativo más integral.

METODOLOGÍA

Hipótesis

El cine-foro constituye una estrategia formativa que favorece el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de ingeniería al promover el análisis reflexivo y el diálogo colectivo a partir de narrativas audiovisuales.

La presente investigación corresponde a una segunda fase de análisis derivada del estudio previo sobre el cine-foro como herramienta para la reflexión crítica en la formación de ingenieros (Cantú et al., 2025). Mientras que la primera fase se desarrolló bajo un enfoque cualitativo basado en la investigación artística, la presente etapa adopta un diseño descriptivo con enfoque mixto, el cual combina de manera sistemática métodos cuantitativos y cualitativos dentro de un mismo estudio,

CC BY NC ND

integrando la recolección y el análisis de ambos tipos de datos con el propósito de obtener una comprensión más amplia del fenómeno investigado (Sampieri et al., 2013).

Este diseño metodológico se fundamenta en la premisa de que la cultura académica influye directamente en la formación profesional del ingeniero. Jensen (2021) sostiene que transformar la cultura tradicional de la ingeniería hacia una orientada al bienestar y al crecimiento integral favorece el desarrollo humano y profesional de los estudiantes. De manera complementaria, Jamieson y Donald (2024) señalan que comprender los elementos culturales en la educación en ingeniería es clave para impulsar procesos de cambio formativo que equilibren habilidades técnicas y no técnicas. Asimismo, Pérez González (2021) argumenta que la formación humanista fortalece la responsabilidad social, la ética profesional y el pensamiento crítico del ingeniero. Estas aportaciones respaldan la pertinencia de analizar el cine-foro no solo como estrategia pedagógica, sino como dispositivo cultural con incidencia institucional.

El diseño es no experimental y transversal, dado que se recopilaron datos en un periodo específico (semestre agosto–diciembre 2025) sin manipulación de variables, con el propósito de evaluar la consolidación del programa desde dimensiones experienciales, culturales e institucionales.

La muestra estuvo conformada por 72 respuestas válidas obtenidas mediante encuestas aplicadas al finalizar diversas sesiones del cine-foro. La participación fue voluntaria y anónima, y los participantes correspondieron a estudiantes de distintos semestres sin criterios de exclusión, ya que se buscó evaluar la experiencia general del programa en su contexto real de implementación.

Se utilizó una encuesta estructurada con ítems tipo Likert para evaluar experiencia general, valoración del debate, ambiente formativo, enriquecimiento histórico-cultural, intención de continuidad, exploración cultural posterior y recomendación del programa. Asimismo, se incluyeron preguntas abiertas orientadas a identificar percepciones sobre transformación del espacio bibliotecario, creación de comunidad e impacto cultural.

El instrumento permitió medir tres dimensiones: experiencial, cultural e institucional. Las encuestas se aplicaron al término de cada sesión, posterior al debate grupal, mediante formularios digitales que garantizaron voluntariedad y confidencialidad.

El análisis cuantitativo se realizó mediante estadística descriptiva (frecuencias y porcentajes), mientras que el análisis cualitativo se desarrolló mediante categorización temática de las respuestas abiertas. La integración de ambos enfoques permitió obtener una visión integral del fenómeno, articulando el impacto formativo con la transformación cultural del entorno académico.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados muestran un alto nivel de satisfacción general con el Taller de Pensamiento Crítico implementado mediante la estrategia de cine-foro. En relación con la intención de participación futura, el 77.8% Fig.1 de los encuestados indicó que definitivamente participaría nuevamente en una sesión similar, mientras que un porcentaje adicional manifestó alta probabilidad de asistir nuevamente. Este hallazgo sugiere no solo satisfacción inmediata, sino consolidación de interés formativo sostenido.

CC BY NC ND

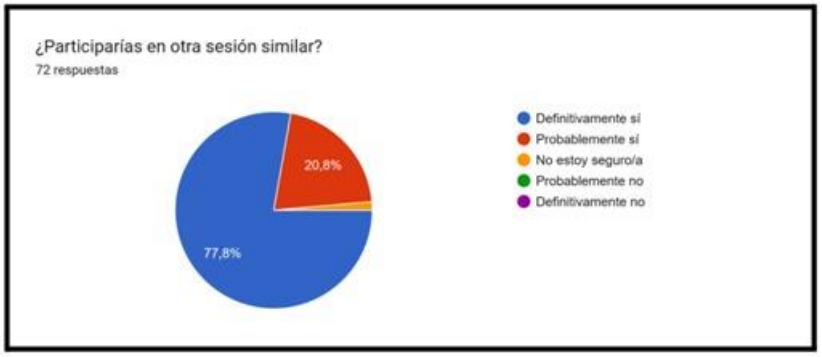


Figura 1. Participación en futuras sesiones del cine-foro

En cuanto al ambiente general de la sesión, el 68.1% en la Fig.2 calificó la experiencia con la puntuación máxima, lo que evidencia la creación de un entorno facilitador del diálogo crítico y la participación abierta. Este resultado refuerza la importancia del clima formativo como elemento central en la consolidación del programa.

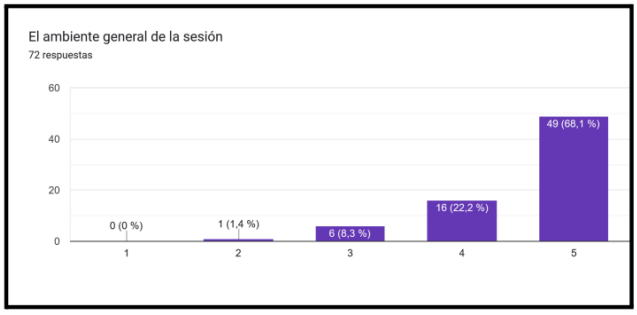


Figura 2. Ambiente general de la sesión

Respecto a la discusión grupal, los participantes mantuvieron una valoración altamente positiva en la Figura 3, confirmando que el debate posterior a la proyección continúa siendo el componente más significativo del proceso formativo, en coherencia con los hallazgos de la fase inicial del estudio (Cantú et al., 2025).

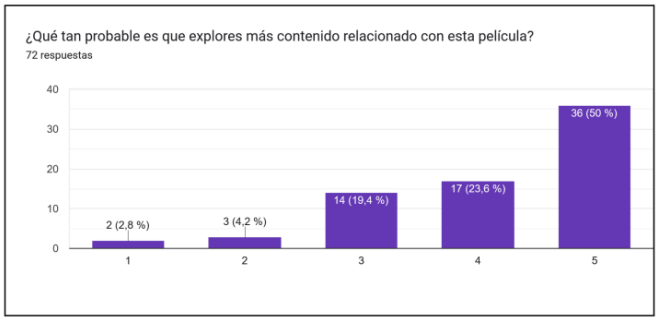


Figura 3. Probabilidad de contenido explorado relacionado con la película.

CC BY NC ND

Dimensión cultural

En términos de impacto cultural, el 50% de los participantes en la Fig.4 manifestó alta probabilidad de explorar contenido adicional relacionado con la película proyectada o con sus directores. Este indicador sugiere que el cine-foro no se limita al espacio de la sesión, sino que extiende su influencia hacia prácticas culturales posteriores.

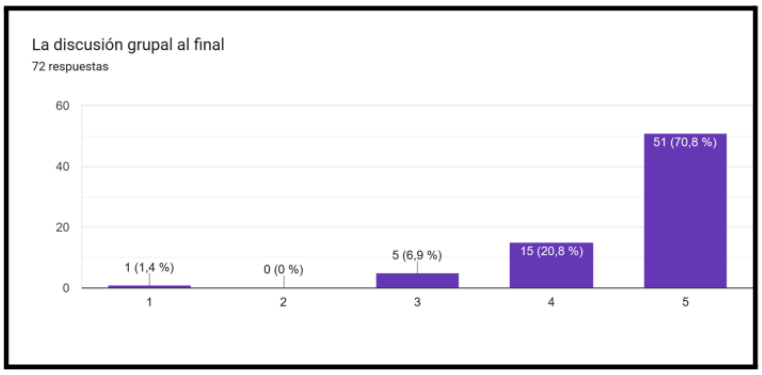


Figura 4. Discusión grupo final

Asimismo, una proporción significativa de estudiantes afirmó que el contexto histórico-cultural enriqueció su comprensión de la obra cinematográfica en la Figura 5, consolidando la articulación entre análisis audiovisual y reflexión social.

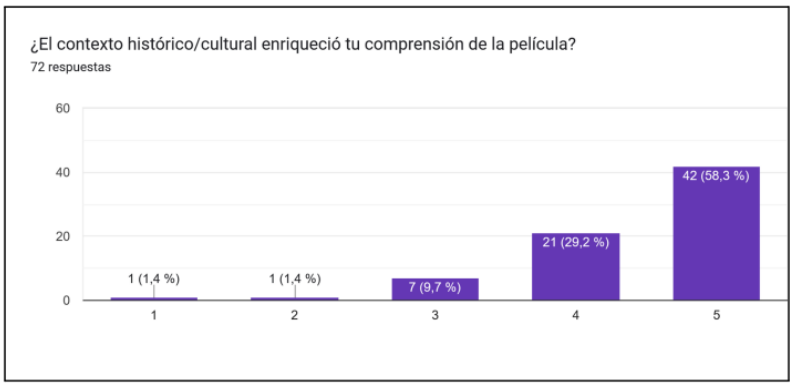


Figura 5. ¿El contexto histórico/cultural enriqueció tu comprensión de la película?

Dimensión institucional y comunitaria

En relación con la recomendación de la experiencia, el 63.9% en la Fig.6 calificó con la puntuación máxima su disposición a recomendar el cine-foro a otros estudiantes. Este dato refleja un efecto multiplicador y posicionamiento institucional dentro de la comunidad estudiantil.

CC BY NC ND

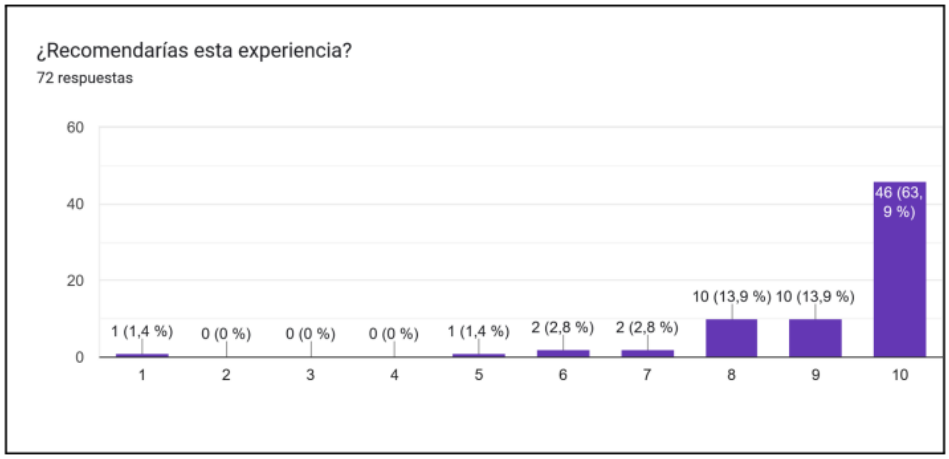


Figura 6. Recomendación en la experiencia

El análisis cualitativo de las respuestas abiertas permitió identificar cuatro categorías emergentes:

1. Creación de comunidad.
2. Accesibilidad a la crítica cultural.
3. Transformación del espacio bibliotecario.
4. Impacto en hábitos culturales.

Diversos participantes señalaron que perciben la biblioteca como un espacio dinámico y participativo, alejándose de su concepción tradicional como lugar exclusivamente silencioso. Esta transformación simbólica constituye uno de los hallazgos más relevantes de la segunda fase del estudio.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta segunda fase confirman y amplían los hallazgos reportados previamente sobre el impacto del cine-foro en la formación de ingenieros dentro de una dependencia de educación superior al noreste de México. Mientras que el estudio inicial evidenció su contribución al desarrollo del pensamiento crítico mediante la discusión grupal y la contextualización histórico-cultural, la presente etapa demuestra su consolidación como práctica institucional estable.

La alta intención de participación futura, los niveles de recomendación y la valoración positiva del ambiente formativo indican que el programa ha trascendido su carácter experimental para convertirse en un espacio reconocido por la comunidad estudiantil. Asimismo, el interés por explorar contenido adicional sugiere que el impacto del cine-foro se extiende más allá de la sesión puntual, promoviendo prácticas culturales autónomas y fortaleciendo la alfabetización mediática.

Uno de los hallazgos más relevantes es la transformación percibida del espacio bibliotecario, que deja de concebirse como entorno de consulta pasiva para configurarse como ágora contemporánea de diálogo y construcción comunitaria. En este sentido, el cine-foro ha evolucionado de estrategia pedagógica focalizada en el pensamiento crítico a dispositivo cultural con incidencia institucional.

CC BY NC ND

Se concluye que esta iniciativa no solo fortalece la formación integral del ingeniero, sino que constituye un modelo replicable para instituciones de educación superior interesadas en integrar estrategias culturales sostenibles dentro de contextos predominantemente técnicos.

REFERENCIAS

Cantú, M., Palomares, M., Sordia, C. & Padilla, A. (2025). El cine-foro como herramienta para la reflexión crítica en la formación de ingenieros. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León. https://mdi.uanl.mx/index.php/revista/issue/view/23/25

Facione, P. A. (1990). Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction. The Delphi Report. American Philosophical Association. https://www.researchgate.net/publication/242279575_Critical_Thinking_A_Statement_of_Expert_Consensus_for_Purposes_of_Educational_Assessment_and_Instruction

Jamieson, M., & Donald, J. R. (2024). Examining cultural elements to enable change in engineering education. https://nemo.asee.org/public/conferences/344/papers/41656

Jensen, K. (2021). The time is now to build a culture of wellness in engineering. https://seejournal.org/articles/10.21061/see.67

Pérez González, J. A. (2021). Por qué formar ingenieros humanistas. Una propuesta metodológica. En Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI. https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/1128

Sampieri, R. H., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2013). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill Education. https://www.ispsn.org/sites/default/files/documentos-virtuais/pdf/metodologia_de_la_investigacion_-_hernandez_sampieri_-_6ta.pdf

CC BY NC ND

Ingeniería de requerimientos para la gestión de reactivos y materiales de laboratorios universitarios

Requirements engineering for the management of reagents and materials in university laboratories

Diana Concepción Mex Alvarez [1]
Heribé Felipe Uribe Santiago [2]
Arelys Alexandra Hernández May [3]
Juan Pablo Ucán Pech [4]

RESUMEN

La administración de laboratorios universitarios representa un desafío crítico debido a la alta demanda de recursos, la coexistencia de actividades docentes e investigativas y la necesidad de mantener trazabilidad sobre equipos e insumos. En este trabajo se presenta la ingeniería de requerimientos de un Sistema Digital de Control de Reactivos y Materiales de Laboratorios (SDCRML), con el objetivo de transformar la gestión manual actual en un sistema automatizado, seguro y eficiente, desarrollado bajo un enfoque ágil orientado a Historias de Usuario (HU). Se documenta la captura de requisitos con actores institucionales de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas (FCQB) de la Universidad Autónoma de Campeche (UACAM) hasta la formalización de criterios de aceptación y su correspondiente arquitectura de solución. La evaluación del sistema mediante la escala de usabilidad SUS (System Usability Scale) y las pruebas de usuario demostró que el sistema proporciona el control en tiempo real de inventarios, la trazabilidad completa de insumos, la reducción de errores humanos y el fortalecimiento en la toma de decisiones, contribuyendo a la eficiencia operativa, la seguridad en el manejo de sustancias y la transparencia institucional.

PALABRAS CLAVES: gestión de laboratorios, historias de usuario, desarrollo ágil, enfoque ágil, trazabilidad de insumos, metodología scrum.

Fecha de recepción: 08 de septiembre, 2026.

Fecha de aceptación: 20 de octubre, 2026.

[1] Profesor e Investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche. diancmex@uacam.mx, https://orcid.org/0000-0001-9419-7868

[2] Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche. hefuribe@uacam.mx, https://orcid.org/0000-0001-7418-818X

[3] Coordinadora de Laboratorios de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Campeche. aahernan@uacam.mx, https://orcid.org/0009-0006-6635-9798

[4] Profesor e Investigador de la Facultad de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Yucatán. juan.ucan@correo.uady.mx, https://orcid.org/0000-0001-8621-7216

CC BY NC ND

ABSTRACT

The management of university laboratories represents a critical challenge due to the high demand for resources, the coexistence of teaching and research activities, and the need to maintain traceability of equipment and supplies. This paper presents the requirements engineering of a Digital Control System for Laboratory Reagents and Materials (SDCRML, by its Spanish acronym), aiming to transform current manual management into an automated, secure, and efficient system, developed under an agile approach oriented toward User Stories (US). The requirement gathering process with institutional actors from the Faculty of Chemical Biological Sciences (FCQB) at the Autonomous University of Campeche (UACAM) is documented up to the formalization of acceptance criteria and its corresponding solution architecture. System evaluation using the System Usability Scale (SUS) and user testing demonstrated that the system provides real-time inventory control, complete traceability of supplies, a reduction in human error, and strengthened decision-making, thereby contributing to operational efficiency, safety in substance handling, and institutional transparency.

KEYWORDS: laboratory management, user stories, agile development, agile approach, supply traceability, scrum methodology..

INTRODUCCIÓN

La transformación digital de los entornos académicos en Latinoamérica ha impulsado una reestructuración de las dinámicas operativas en los laboratorios de docencia e investigación de las instituciones de educación superior. Históricamente, una parte sustancial de los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas (FCQB) de la Universidad Autónoma de Campeche (UACAM) ha operado mediante registros analógicos, bitácoras físicas o herramientas de ofimática aisladas. Esta operatividad genera vulnerabilidades operativas críticas, entre las que destacan la falta de visibilidad sobre el estado de los reactivos y materiales, los errores en la transcripción manual de datos analíticos, la ausencia de trazabilidad sobre el uso de insumos y dificultades de recabar las evidencias para auditorías de calidad o acreditación académica.

Los laboratorios de la FCQB constituyen un entorno dinámico donde convergen la teoría con la práctica. La gestión manual de estos espacios suele producir ineficiencias operativas como la falta de visibilidad en el stock de reactivos, retrasos en el mantenimiento de equipos y falta de trazabilidad en los consumos de reactivos.

Para solucionar esta problemática, este artículo presenta la ingeniería de requerimientos de una plataforma web integral diseñada para optimizar los procesos operativos del laboratorio de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Campeche. El proyecto se estructuró a partir de la metodología Scrum, priorizando las necesidades reales de la comunidad universitaria mediante Historias de Usuario formalizadas.

El desarrollo de software en las facultades universitarias presenta retos metodológicos según Guillermo Sunkel et al. (2013), algunos retos particulares son derivados de la diversidad de actores involucrados, entre los que se cuentan docentes, laboratoristas, estudiantes de ingeniería y comités de acreditación. El empleo de metodologías de desarrollo tradicionales o predictivas en estos entornos solía derivar en entregas desfasadas de las necesidades reales, documentación excesiva y sistemas con baja adopción operativa, por su parte Rhenals et al. (2025) sugiere que los laboratorios universitarios, tradicionalmente concebidos como espacios físicos de experimentación, emergen como plataformas estratégicas para el desarrollo científico y tecnológico,

CC BY NC ND

dado paso a la mejora continua y la búsqueda de la excelencia, como lo menciona Garzon (2015), por lo que el cero error no tiene retorno en los laboratorios clínicos de América Latina.

La literatura sobre ingeniería de software en Latinoamérica como se menciona en Quintero (2021); Estrada et al. (2021), Taipe Litardo (2018); Carreño (2023) y Cadavid et al. (2013), confirman que la aplicación de Scrum en proyectos informáticos universitarios incrementa de forma directa la eficiencia técnica y la satisfacción del usuario.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la gestión de reactivos y materiales se realiza mediante registros manuales, lo que genera:

- Pérdida o duplicación de información
- Falta de actualización en tiempo real
- Descontrol en inventarios
- Riesgos en seguridad y manejo de sustancias
- Incremento de costos por compras innecesarias

La digitalización de estos procesos representa una necesidad institucional, alineada con:

- Transformación digital universitaria
- Mejora de la calidad académica y científica
- Transparencia y rendición de cuentas
- Optimización de recursos públicos.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del Sistema Digital de Control de Reactivos y Materiales de Laboratorios (SDCRML) se adoptó un enfoque metodológico ágil basado en Scrum, articulado con principios de la Ingeniería de Requisitos Orientada a Objetos. Esta combinación permitió iterar continuamente a partir de la retroalimentación de los actores institucionales mediante la definición, priorización y formalización de Historias de Usuario (HU).

Levantamiento de Requisitos y Captura de Historias de Usuario.

La fase de captura de requisitos consistió en entrevistas semiestructuradas y talleres de mapeo de procesos con los actores clave de los laboratorios. Las necesidades identificadas se estructuraron bajo la plantilla estándar de Historias de Usuario:

Como [Rol], quiero [Funcionalidad] para [Beneficio]

Para garantizar la rigurosidad técnica en la transición hacia el diseño de software, cada Historia de Usuario fue categorizada dentro de un Módulo Funcional y formalizada mediante sus correspondientes Criterios de Aceptación (CA).

Formalización de Historias de Usuario por Módulo Funcional.

En la Tabla 1 se muestran las Historias de Usuario del Módulo de Sesión, mientras que en la Tabla 2 se observan las Historias del Módulo Inventario de Coordinación, en la Tabla 3 se visualizan las del Módulo de administración de coordinación, en la Tabla 4 las HU del Módulo de reportes, en la Tabla 5 las del Módulo de notificaciones y por último en la Tabla 6 se encuentran las HU del Módulo de inventario de técnico laboratorista.

CC BY NC ND

Tabla 1. Módulo de Sesión.

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-SESION-001	Inicio de Sesión	Alta	Técnico Laboratorista
Historia de usuario	• **Como** Técnico Laboratorista. • **Quiero** iniciar sesión en el sistema utilizando mi correo y contraseña. • **Para** acceder de forma segura a las herramientas de gestión del inventario y proteger la información del laboratorio.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe validar que el correo y contraseña coincidan con la base de datos. • Si las credenciales son incorrectas, debe mostrar un mensaje de error claro. • Al iniciar sesión con éxito, el sistema debe redirigir al panel de Inventario.		
Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-SESION-002	Cerrar Sesión	Media	Técnico Laboratorista
Historia de usuario	• **Como** Técnico Laboratorista. • **Quiero** cerrar mi sesión en el sistema mediante un botón visible, • **Para** asegurar que nadie más pueda acceder a mi cuenta o modificar el inventario cuando me aleje del equipo.		
Criterios de aceptación	• Al hacer clic en "Cerrar sesión", el token de acceso debe ser invalidado. • El usuario debe ser redirigido a la pantalla de inicio de sesión.		

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-SESION-003	Recuperar Contraseña	Media	Técnico Laboratorista
Historia de usuario	• **Como** Técnico Laboratorista. • **Quiero** solicitar un enlace de recuperación de contraseña a mi correo electrónico. • **Para** poder restablecer mi acceso al sistema si olvido mi clave.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe enviar un correo con un enlace o código temporal si el email está registrado. • El enlace debe expirar después de un tiempo definido de 30 minutos.		

Tabla 2. Módulo Inventario de Coordinación.

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-INV-COOR-001	Visualizar Inventario	Alta	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** Coordinador de laboratorios. • **Quiero** visualizar el inventario de reactivos y materiales en una interfaz digital. • **Para** conocer la disponibilidad real de reactivos y materiales.		

CC BY NC ND

Criterios de aceptación	• El sistema debe mostrar una tabla/lista con todos los materiales y reactivos registrados. Cada material/reactivo debe incluir: nombre, categoría (reactivo, material), estado (disponible, no disponible) y cantidad disponible (en el caso de los materiales el número de unidades o la unidad de medida que sea adecuada). • El sistema debe tener una barra de búsqueda para buscar materiales/reactivos por nombre. • El sistema debe permitir filtrar por categoría (solo reactivos / solo materiales). • Si la búsqueda no encuentra ninguna coincidencia, se mostrará un mensaje: "No se encontraron resultados para su búsqueda". • El sistema debe resaltar en rojo los productos que estén por debajo del stock mínimo definido o emitir una alerta en el panel de Coordinador de Laboratorios. • Si no hay materiales/reactivos registrados, el sistema mostrará un mensaje indicando "no hay artículos en el inventario". • Al seleccionar un material/reactivo el sistema debe mostrar los detalles completos, incluyendo el historial de movimientos.

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-INV-COOR-002	Registrar Ingreso de Reactivo y de Materiales	Alta	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** coordinador de laboratorios. • **Quiero** registrar el ingreso de reactivos y materiales con su cantidad y detalles. • **Para** mantener un control preciso del inventario y garantizar la trazabilidad de los insumos químicos después de realizar las compras.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir ingresar: nombre del reactivo y/o material, unidad de medida, cantidad mínima requerida, y fecha de ingreso. • La fecha de ingreso debe registrarse automáticamente al momento de guardar. • El sistema debe validar que la cantidad sea un valor numérico positivo. • El sistema debe mostrar un mensaje de confirmación al registrar exitosamente. • El reactivo y el material debe quedar inmediatamente disponible en el inventario general. • Debe registrarse el usuario responsable del ingreso.		

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-INV-COOR-003	Registrar Consumo de Reactivo y Consumo de Material.	Media	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** Coordinador de Laboratorios. • **Quiero** registrar el consumo de reactivos y el consumo de material, especificando cantidad de consumo. • **Para** mantener una mejor gestión, y el inventario actualizado.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir buscar reactivos y buscar materiales para seleccionar a través de un catálogo. • Al seleccionar un reactivo o material el sistema debe mostrar un formulario que permita ingresar la cantidad exacta a consumir (en unidades de medida: mg, gr, ml, etc..). • El sistema no debe permitir registrar un consumo mayor a la cantidad existente en el inventario actual. • Al confirmar el consumo, la cantidad disponible en el inventario general debe disminuir inmediatamente.		

CC BY NC ND

	• El registro de consumo de reactivo o material debe guardar automáticamente la fecha, hora, y el usuario (Coordinador de Laboratorios) que realizó la operación. • El sistema debe mostrar un mensaje de éxito al finalizar el registro de consumo de reactivo.		
Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-INV-COOR-004	Abastecer Reactivo y Abastecer Material	Media	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** Coordinador de Laboratorios. • **Quiero** abastecer los reactivos existentes en el inventario. • **Para** mantener la disponibilidad de los reactivos.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe mostrar la unidad de medida del reactivo, así como la cantidad actual que se dispone en el inventario. • Solo debe permitir el ingreso de números positivos. • Debe solicitar el responsable del movimiento, fecha de vencimiento y proveedor. • Debe guardarse el movimiento realizado, guardando información como el nombre del movimiento, la cantidad, la fecha y responsable.		
Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-INV-COOR-005	Asignar Reactivo y/o Material a Laboratorio	Media	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** coordinador de laboratorios. • **Quiero** asignar reactivos a laboratorios específicos. • **Para** controlar qué reactivos están disponibles en cada espacio y mantener trazabilidad de la distribución.		
Criterios de aceptación	• Solo los laboratorios con algún responsable asignado pueden ser candidatos para asignación de reactivos. • El sistema debe permitir seleccionar: reactivo o material, laboratorio destino, cantidad a asignar. • Debe registrar: fecha de asignación, usuario responsable, propósito de uso. • No debe permitir asignar cantidades mayores a las disponibles en inventario general. • El sistema debe actualizar automáticamente las cantidades en ambos inventarios (general y del laboratorio). • Debe generar un comprobante o registro de la asignación. • Debe mostrar confirmación exitosa de la asignación.		

Tabla 3. Módulo administración de coordinación.

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-ADMIN-COOR-001	Visualizar Técnicos Laboratoristas	Media	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** Coordinador de Laboratorios. • **Quiero** ver una lista de los técnicos laboratoristas registrados. • **Para** asegurar una gestión óptima sobre el personal de la institución.		

CC BY NC ND

Criterios de aceptación	• Debe mostrarse una lista con los siguientes apartados: Nombre, Correo asignado, laboratorio asignado y fecha de registro. • Debe permitir el filtrado por orden alfabético de acuerdo al primer apellido. • Debe permitir la búsqueda a través de una barra de búsqueda.		
Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-ADMIN-COOR-002	Registrar Nuevo Técnico Laboratorista	Media	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** Coordinador de laboratorios. • **Quiero** registrar a un nuevo técnico laboratorista en el sistema • **Para** que el nuevo técnico laboratorista pueda registrar consumos, visualizar el inventario y ver notificaciones.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe mostrar un formulario para registro con los siguientes campos: Nombre, Correo asignado, contraseña, laboratorio asignado (puede mantenerse vacío en el registro). • Cuando la contraseña no cumpla con la política de seguridad entonces el sistema debe impedir el registro y mostrar un mensaje indicando los requisitos de la contraseña. • Si el registro es exitoso el sistema debe mostrar un mensaje en el panel de Coordinación: “Registro de técnico laboratorista exitoso”. • Si el correo ya está registrado en el sistema: el sistema debe mostrar un mensaje de error: “El correo electrónico ya está en uso”.Debe registrar la fecha.		

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-ADMIN-COOR-003	Visualizar Laboratorios	Media	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** Coordinador de Laboratorios • **Quiero** visualizar los laboratorios registrados • **Para** tener un control óptimo sobre estas instalaciones		
Criterios de aceptación	• Debe visualizarse una lista de los laboratorios registrados. • Cada laboratorio debe mostrar los siguientes apartados: Nombre, técnico laboratorista responsable, una breve descripción y fecha de registro. • Debe permitir el filtrado en orden alfabético a través del nombre de laboratorio.		
Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-ADMIN-COOR-004	Registrar Nuevo Laboratorio	Media	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** Coordinador de Laboratorios • **Quiero** registrar un nuevo laboratorio • **Para** mantener actualizado mi lista de instalaciones		
Criterios de aceptación	• Debe solicitar un formulario con los siguientes campos: Nombre del laboratorio, responsable (puede estar vacío), una descripción breve. • Debe guardar la fecha de registro. • Debe aparecer un mensaje de confirmación. • La lista de laboratorio debe actualizarse inmediatamente.		
Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-ADMIN-COOR-005	Asignar Laboratorio	Media	Coordinador de Laboratorios

CC BY NC ND

Historia de usuario	• **Como** Coordinador de Laboratorios • **Quiero** asignar un laboratorio a un técnico laboratorista. • **Para** que pueda asignarse reactivos y materiales.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir seleccionar a un técnico laboratorista para asignarle un laboratorio. • Debe comprobarse los laboratorios disponibles. • Una vez asignado un laboratorio, este debe quedar inhabilitado para evitar una doble asignación.		
Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-ADMIN-COOR-006	Retirar Laboratorio	Media	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** Coordinador de Laboratorios • **Quiero** retirar la asignación de laboratorio a un técnico laboratorista • **Para** realizar operaciones como intercambio de laboratorios o cambio de personal.		
Criterios de aceptación	• Debe permitir seleccionar a un técnico laboratorista para posteriormente quitarle la asignación de laboratorio. • Una vez realizada la operación, el laboratorio debe quedar disponible para una nueva asignación. • Una vez realizada la operación, el técnico laboratorista debe quedar disponible para una nueva asignación.		

Tabla 4. Módulo de reportes.

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-REP-001	Generar Reporte General de Inventario	Alta	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** coordinador de laboratorios. • **Quiero** generar un reporte general del inventario completo. • **Para** conocer el estado global de todos los reactivos y materiales disponibles en la institución.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe generar un reporte consolidado de todo el inventario. • Debe incluir: reactivos y materiales, cantidades actuales, ubicaciones, estado. • Debe mostrar el valor total del inventario (si se tienen costos registrados). • Debe incluir sección de reactivos próximos a vencer • Debe incluir sección de insumos notificados por cantidades mínimas. • Debe permitir filtrar por: tipo (reactivo/material), categoría, estado. • Debe permitir exportar en formatos: PDF, Excel. • El reporte debe incluir: fecha de generación, usuario que lo generó, resumen ejecutivo		

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-REP-002	Generar Reporte de Stock Actual	Alta	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** coordinador de laboratorios • **Quiero** generar un reporte detallado del inventario actual • **Para** realizar inventarios físicos, auditorías y verificación de existencias		

CC BY NC ND

Criterios de aceptación	• El sistema debe generar un reporte con el inventario actual de cada reactivo y material • Debe incluir: código, nombre, cantidad actual, unidad de medida, ubicación, lote • Debe mostrar la cantidad mínima configurada • Debe incluir fecha de último movimiento para cada insumo • Debe permitir filtrar por: categoría (reactivo/material), laboratorio, rango de fechas • Debe permitir ordenar por: nombre. • Debe incluir espacio para firmas de verificación física • Debe permitir exportar en formatos: PDF, Excel • El reporte debe incluir fecha de generación y usuario responsable

Tabla 5. Módulo de notificaciones.

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-NOTIF-001	Notificaciones	Media	Coordinador de Laboratorios
Historia de usuario	• **Como** Coordinador de Laboratorios. • **Quiero** recibir notificaciones y alertas. • **Para** estar informado y actualizado sobre las situaciones que se presenten para tomar medidas y acciones sobre las situaciones presentadas.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe tener un apartado de notificaciones en el panel del Coordinador de Laboratorios señalado por una campana de notificaciones. • Cuando llegue una notificación nueva, la campana de notificaciones debe mostrar una señal de alerta. • Al abrir el panel de notificaciones, las notificaciones deben enlistarse y mostrar su estado (no leídas, leídas). • El panel de notificaciones debe permitir archivar las notificaciones pasadas para evitar que se puedan mezclar con las notificaciones más recientes.		

Tabla 6. Módulo de inventario de técnico laboratorista.

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-INV-TEC-LAB-001	Visualizar Inventario	Media	Técnico Laboratorista
Historia de usuario	• **Como** Técnico Laboratorista • **Quiero** ver una lista detallada con todo el inventario de reactivos y materiales, • **Para** conocer la disponibilidad de los recursos en tiempo real y responder a las solicitudes de los usuarios.		
Criterios de aceptación	• La vista debe mostrar el nombre del ítem, categoría, stock actual y unidad de medida. • Debe existir un buscador o filtros (por material o reactivo) para encontrar ítems rápidamente.		

Identificador	Título	Prioridad	Rol
HU-INV-TEC-LAB-002	Registrar Consumo de Reactivo o Materiales	Media	Técnico Laboratorista
Historia de usuario	• **Como** Técnico Laboratorista • **Quiero** registrar la cantidad exacta de un reactivo o materiales que ha sido utilizado,		

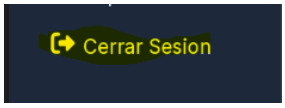
CC BY NC ND

	• **Para** mantener el inventario actualizado automáticamente y evitar el desabasto durante las prácticas.
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir buscar reactivos o materiales para seleccionar a través de un catálogo. • Al seleccionar un reactivo o material el sistema debe mostrar un formulario que permita ingresar la cantidad exacta a consumir (en unidades de medida: mg, gr, ml, etc..). • El sistema no debe permitir registrar un consumo mayor a la cantidad existente en el inventario actual. • Al confirmar el consumo, la cantidad disponible en el inventario general debe disminuir inmediatamente. • El registro de consumo de reactivo debe guardar automáticamente la fecha, hora, y el usuario (Técnico laboratorista) que realizó la operación. • El sistema debe mostrar un mensaje de éxito al finalizar el registro de consumo de reactivo o material según sea el caso.

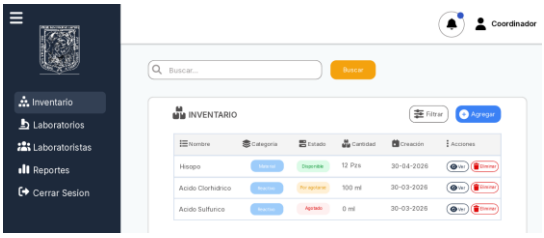
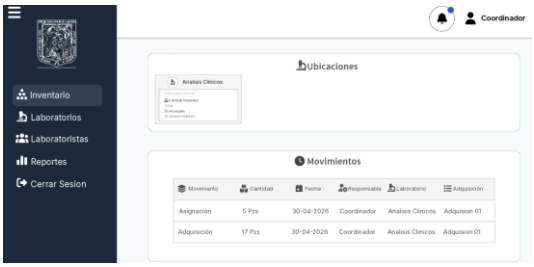
Matriz de Trazabilidad y Soluciones funcionales.

La transformación de los requisitos funcionales derivó en la arquitectura y componentes del software, por lo que en la Tabla 7 se visualiza la matriz de Trazabilidad y Soluciones funcionales, dentro de la que se observan las figuras de la 1 a la 26.

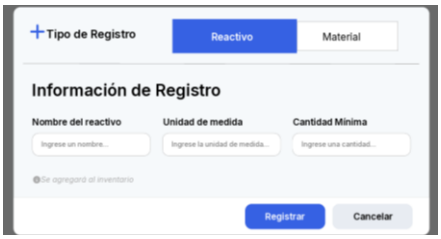
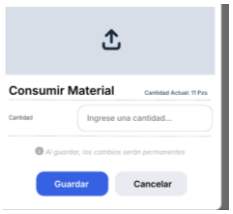
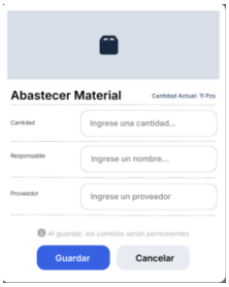
Tabla 7. Matriz de Trazabilidad y Soluciones funcionales.

Identificador	Modulo	Prioridad	Solución funcional
HU-SESION-001	Sesión	Alta	 **Figura 1. Inicio de sesión.**
HU-SESION-002	Sesión	Media	 **Figura 2. Cerrar sesión.**

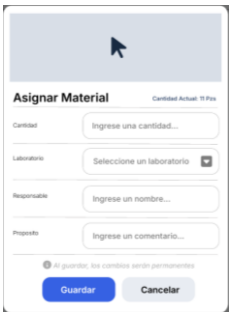
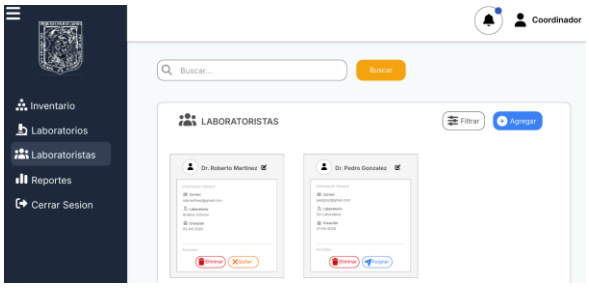
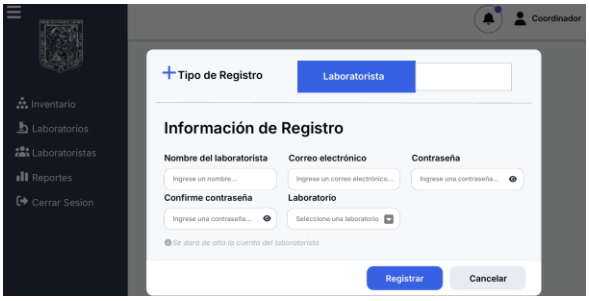
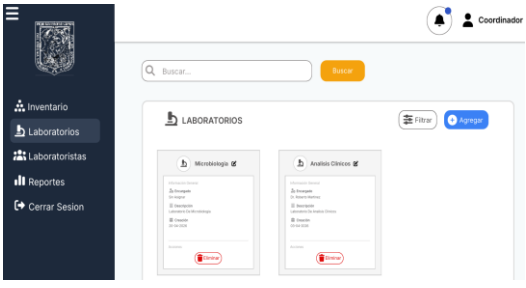
CC BY NC ND

HU-SESION-003	Sesión	Media	 **Figura 3. Recuperar contraseña.**
HU-INV-COOR-001	Inventario de Coordinación.	Alta	 **Figura 4. Inventario de reactivos y materiales.**  **Figura 5. Detalles de materio e inventario.**

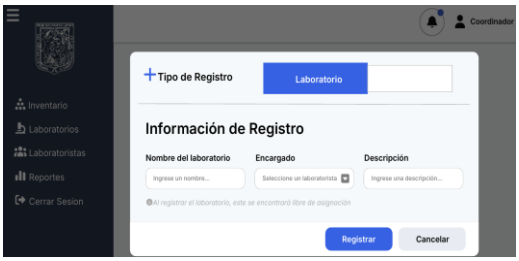
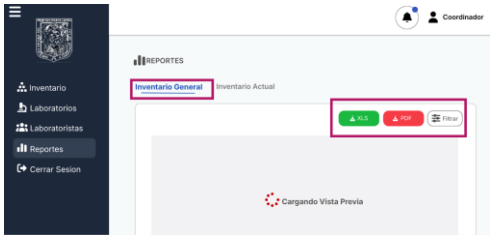
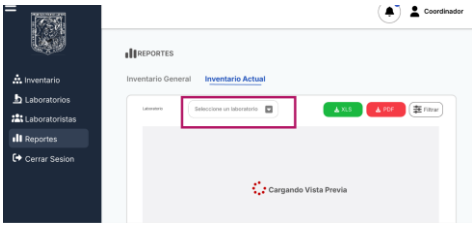
CC BY NC ND

HU-INV-COOR-002	Inventario de Coordinación.	Alta	 **Figura 6. Registro de reactivos.**  **Figura 7. Registro de materiales.**
HU-INV-COOR-003	Inventario de Coordinación.	Media	 **Figura 8. Consumo de reactivo.**  **Figura 9. Consumo de material.**
HU-INV-COOR-004	Inventario de Coordinación.	Media	 **Figura 10. Abastecer reactivo.**  **Figura 11. Abastecer material.**

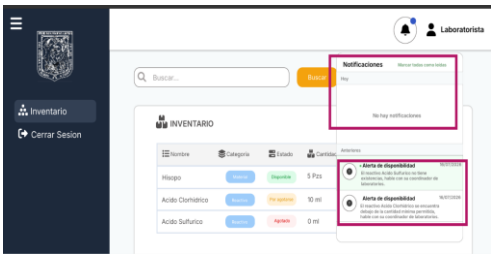
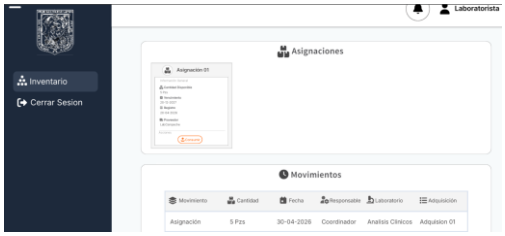
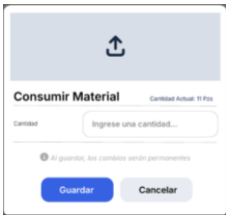
CC BY NC ND

HU-INV-COOR-005	Inventario de Coordinación.	Media	 **Figura 12. Asignar reactivo.**  **Figura 13. Asignar material.**
HU-ADMIN-COOR-001	Administración de coordinación.	Media	 **Figura 14. Laboratoristas.**
HU-ADMIN-COOR-002	Administración de coordinación.	Media	 **Figura 15. Registro de laboratorista.**
HU-ADMIN-COOR-003	Administración de coordinación.	Media	 **Figura 16. Laboratorios.**

CC BY NC ND

HU-ADMIN-COOR-004	Administración de coordinación.	Media	 Figura 17. Registro de laboratorios.
HU-ADMIN-COOR-005	Administración de coordinación.	Media	 Figura 18. Asignar laboratorio.
HU-ADMIN-COOR-006	Administración de coordinación.	Media	 Figura 19. Quitar Asignación.
HU-REP-001	Reportes	Media	 Figura 20. Reporte deinventario general.
HU-REP-002	Reportes	Alta	 Figura 21. Reporte de inventario actual.

CC BY NC ND

HU-NOTIF-001	Notificaciones	Media	 **Figura 22. Notificaciones.**
HU-INV-TEC-LAB-001	Inventario de técnico laboratorista	Media	 **Figura 23. Inventario del laboratorista.**  **Figura 24. Detalles del inventario del laboratorista.**
HU-INV-TEC-LAB-002	Inventario de técnico laboratorista	Media	 **Figura 25. Consumir reactivo LAB.**  **Figura 26. Consumir material LAB.**

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En un entorno de pruebas para la validación por parte del personal del laboratorio mediante Pruebas de Aceptación de Usuario, se obtuvieron los siguientes resultados:

- La digitalización del inventario de reactivos y materiales en todos los laboratorios de docencia.
- Un control estandarizado de entradas, salidas y disponibilidad de insumos.
- Garantizar la trazabilidad del uso de reactivos y materiales por laboratorio y usuario responsable.
- El sistema se implementó en todos los laboratorios de docencia de la Facultad.
- Integración del registro del consumo de materiales en las prácticas de laboratorio vinculadas a los Programas de Unidad de Aprendizaje.

CC BY NC ND

- Optimización de la planeación y dotación de materiales para prácticas académicas.
- Reducción de errores operativos y mejora de la eficiencia en la gestión de recursos.
- Generación de información confiable para la toma de decisiones y mejora continua.

CONCLUSIONES

El enfoque de desarrollo guiado por Historias de Usuario permitió construir un sistema alineado rigurosamente con la operativa diaria del laboratorio de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Campeche. La formalización de criterios de aceptación fue clave para traducir requisitos operativos en soluciones técnicas robustas, optimizando los tiempos de atención, la trazabilidad de insumos y materiales, así como la disponibilidad de espacios de laboratorio, obteniendo como resultado final un sistema digital integral para el control, monitoreo y trazabilidad de reactivos y materiales, que permita optimizar la gestión de inventarios, mejorar la eficiencia en la dotación de insumos para prácticas académicas y fortalecer la seguridad, transparencia y toma de decisiones institucional.

REFERENCIAS

Cadavid, A. N. (2013). Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software. Prospectiva, 11(2), 30. https://doi.org/10.15665/rp.v11i2.36

Carreño, O. (2023). Sistema Web con Asistencia Virtual para la Gestión Administrativa Del Laboratorio Clínico Loma Linda Carreño [Trabajo de grado para optar al título de ingeniero en computación, República Bolivariana De Venezuela Universidad José Antonio Páez Facultad De Ingeniería]. https://riujap.ujap.edu.ve/server/api/core/bitstreams/f9c45924-a691-48a6-ab87-33536b1c099c/content

Estrada, M., Núñez, J., Saltos, P., & Cunuhay, W. (2021). Systematic review of the SCRUM methodology for software development. Revista Científica Dominio de Las Ciencias, 7(4), 434-447.

Garzon, A. C. (2015). Sistemas de gestión en el laboratorio clínico en Latinoamérica. The Journal of the International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine, 21, 221-226.

Guillermo Sunkel, Daniela Trucco y Andrés Espejo. (2013). La integración de las tecnologías digitales en las escuelas de América Latina y el Caribe. CEPAL. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/1430a3ff-1b88-4a49-a8e1-037f89bd77e6/content

Quintero, L. B. (2021). Implementación y práctica de scrum en la asignatura de formulación y evaluación de proyectos en la facultad de ciencias económicas y administrativas de la universidad el bosque. Panorama, 15 (29), 127 - 140. https://doi.org/10.15765/pnrm.v15i29.2538

CC BY NC ND

Rhenals, L. D., Rosero, Ó. A. T., & Castañeda, W. L. R. (2025). Ecosistema de Innovación en Ingeniería: Transformación Digital y Gestión de Laboratorios Universitarios. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería, 1-11. https://doi.org/10.26507/paper.4647

Taipe Litardo, M. F. (2018). Análisis de las Metodologías Ágiles para el Desarrollo de Software [titulación de grado previo a la obtención del título de ingeniera en sistemas computacionales, universidad estatal de milagro facultad ciencias de la ingeniería]. https://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/4378/1/an%c3%81lisis%20de%20las%20metodolog%c3%8das%20%c3%81giles%20para%20el%20desarrollo%20de%20software.pdf

Educación ambiental como proceso formativo integral para la transición hacia sociedades sustentables

Environmental education as a comprehensive formative process for the transition toward sustainable societies

Christopher Isis George Zúñiga [1]
Eblyn Cantú Prado [2]
Alfredo López Vázquez [3]

RESUMEN

La educación ambiental (EA) es una estrategia clave para promover una transición social hacia modelos de desarrollo sostenibles que integren dimensiones ecológicas, sociales y económicas. Este ensayo analiza críticamente cómo la EA —no solo como transmisión de contenidos, sino como proceso formativo integral— contribuye a la construcción de una sociedad más sustentable. Se exploran los enfoques contemporáneos de la EA, su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los desafíos en su práctica educativa y su impacto en la conciencia y acción ciudadana. Evidencias recientes indican que integrar la EA en currículos formales, la formación docente y las experiencias educativas basadas en proyectos fomenta valores proambientales, pensamiento crítico y comportamientos sostenibles en diversos niveles educativos. Concluye subrayando la necesidad de políticas educativas articuladas, aprendizaje activo e interdisciplinaridad para que la EA contribuya efectivamente a metas de sostenibilidad.

.

PALABRAS CLAVES: educación ambiental; sostenibilidad; desarrollo sostenible; competencias ambientales; transformación social; políticas educativas; ciudadanía ecológica; pensamiento crítico.

Fecha de recepción: 10 de septiembre, 2026.

Fecha de aceptación: 19 de octubre, 2026.

[1] Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma Nuevo León. christopher.georgezng@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0004-3925-7353
[2] 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
[3] Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, alfredo.lopezvz@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0009-0008-9740-5747

ABSTRACT

Environmental education (EE) is a key strategy for promoting a social transition toward sustainable development models that integrate ecological, social, and economic dimensions. This essay critically analyzes how EE—not merely as the transmission of content, but as a comprehensive formative process—contributes to the construction of a more sustainable society. It explores contemporary approaches to EE, its relationship with the Sustainable Development Goals (SDGs), the challenges involved in its educational practice, and its impact on civic awareness and action. Recent evidence indicates that integrating EE into formal curricula, teacher training, and project-based educational experiences fosters pro-environmental values, critical thinking, and sustainable behaviors across various educational levels. It concludes by highlighting the need for coherent educational policies, active learning, and interdisciplinarity to ensure that EE effectively contributes to sustainability goals.

KEYWORDS: environmental education; sustainability; sustainable development; environmental competencies; social transformation; educational policies; ecological citizenship; critical thinking.

INTRODUCCIÓN

La realidad contemporánea muestra una paradoja: mientras aumenta la conciencia pública sobre la crisis climática, persisten patrones de producción y consumo insostenibles. Informes del Intergovernmental Panel on Climate Change (2023) subrayan que las acciones actuales son insuficientes para limitar el calentamiento global a 1.5 °C. Esta brecha entre conocimiento científico y acción social no responde únicamente a falta de información, sino a factores culturales, económicos y educativos que dificultan la traducción del conocimiento en transformación social efectiva. En términos pedagógicos, se trata de un problema de transferencia y apropiación del aprendizaje: saber no implica necesariamente actuar.

En muchos sistemas educativos, la educación ambiental (EA) se implementa de manera fragmentada, reducida a contenidos teóricos sin conexión con la experiencia cotidiana del estudiantado. Investigaciones recientes muestran que los programas basados exclusivamente en transmisión de información generan incrementos cognitivos, pero no necesariamente cambios conductuales sostenidos (Ardoin et al., 2020). Este fenómeno ha sido descrito como la “brecha actitud-comportamiento”, donde los sujetos manifiestan preocupación ambiental pero mantienen prácticas inconsistentes con dicha preocupación.

Por tanto, la interpretación crítica de la realidad indica que la EA debe superar enfoques superficiales y promover procesos formativos integrales que articulen conocimiento, emoción y acción. Ello implica incorporar estrategias pedagógicas que desarrollen identidad ambiental, sentido de pertenencia ecológica y percepción de autoeficacia colectiva. Sin estas dimensiones socioemocionales, la información científica permanece abstracta.

Desde una perspectiva epistemológica, la EA implica una ruptura con paradigmas educativos fragmentados, proponiendo enfoques integradores que articulen saberes científicos, conocimientos locales y reflexión ética. No se limita a informar sobre problemáticas ecológicas, sino que busca desarrollar competencias complejas —cognitivas, emocionales y conductuales— que permitan a los sujetos interpretar la realidad ambiental, cuestionar estructuras insostenibles y participar activamente en procesos de transformación social. Este enfoque se alinea con la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, particularmente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 4, que enfatiza la necesidad de garantizar una educación inclusiva y de calidad que promueva el desarrollo sostenible.

Asimismo, la educación ambiental se inserta en un debate más amplio sobre justicia ambiental, ética intergeneracional y responsabilidad colectiva. En este sentido, formar para la sustentabilidad implica

CC BY NC ND

trascender la mera modificación de comportamientos individuales para promover cambios estructurales en patrones productivos, culturales y políticos. La EA, concebida como educación transformadora, busca fomentar ciudadanía ecológica crítica, capaz de comprender la complejidad de los sistemas socioecológicos y de incidir en ellos mediante participación democrática informada.

MARCO TEÓRICO

Educación ambiental, políticas públicas y gobernanza.

La crisis ambiental contemporánea ha puesto en evidencia que los problemas ecológicos no pueden comprenderse únicamente como fenómenos naturales, sino como procesos profundamente sociales y políticos. El cambio climático, la pérdida de biodiversidad o la contaminación no son consecuencia exclusiva de variables biofísicas, sino del modo en que las sociedades organizan la producción, el consumo y la toma de decisiones colectivas. En este contexto, la educación ambiental adquiere un papel estratégico: no solo transmite conocimientos sobre la naturaleza, sino que forma ciudadanos capaces de participar en la gestión democrática de los bienes comunes. Por ello, su articulación con las políticas públicas y la gobernanza constituye una condición indispensable para avanzar hacia la sustentabilidad.

Tradicionalmente, la educación ambiental fue concebida como un componente pedagógico complementario, orientado principalmente a modificar conductas individuales: reciclar, ahorrar agua o evitar la contaminación. Sin embargo, esta visión reduccionista ha demostrado ser insuficiente frente a problemas sistémicos. La persistencia de modelos económicos intensivos en carbono, incluso en sociedades con alta conciencia ecológica, revela que las decisiones ambientales se estructuran en marcos institucionales y regulatorios que exceden la esfera individual. Así, la educación ambiental no puede limitarse a promover hábitos responsables; debe preparar a las personas para comprender y participar en procesos de decisión pública relacionados con la gestión de recursos naturales, la planificación territorial o la transición energética.

Desde esta perspectiva, la educación ambiental se vincula directamente con las políticas públicas. Estas constituyen el conjunto de acciones, normativas y programas que los gobiernos implementan para atender problemas colectivos. En materia ambiental, abarcan desde regulaciones sobre emisiones hasta estrategias de conservación o economía circular. No obstante, la eficacia de dichas políticas depende en gran medida de la legitimidad social que posean. Una población que comprende los fundamentos científicos y éticos de una medida —por ejemplo, restricciones al uso de combustibles fósiles— tiene mayor disposición a aceptarla y colaborar en su cumplimiento. La educación ambiental, por tanto, actúa como un puente entre conocimiento científico y aceptación social de la regulación.

La Agenda 2030 impulsada por Naciones Unidas reconoce explícitamente esta relación al vincular la calidad educativa con la sostenibilidad. El Objetivo de Desarrollo Sostenible 4.7 plantea que la educación debe capacitar a las personas para promover estilos de vida sostenibles, derechos humanos y cultura de paz. Esta formulación implica comprender la educación como infraestructura institucional de la gobernanza ambiental: no solo informa, sino que habilita la participación ciudadana informada. Sin educación pertinente, la gobernanza ambiental corre el riesgo de convertirse en tecnocrática; sin gobernanza democrática, la educación ambiental pierde capacidad transformadora.

El concepto de gobernanza amplía la noción tradicional de gobierno. Mientras el gobierno alude a la autoridad estatal, la gobernanza implica redes de actores —instituciones públicas, sector privado, academia y sociedad civil— que cooperan en la toma de decisiones. Los problemas ambientales contemporáneos requieren precisamente esta coordinación multinivel, ya que sus efectos

CC BY NC ND

trascienden fronteras administrativas y temporales. El cambio climático analizado por el Intergovernmental Panel on Climate Change muestra que las acciones locales tienen repercusiones globales y viceversa. En consecuencia, la educación ambiental debe preparar a los ciudadanos para comprender sistemas complejos y participar en procesos deliberativos donde interactúan intereses diversos.

Una gobernanza ambiental efectiva depende de ciudadanos capaces de interpretar información técnica, evaluar riesgos y participar en debates públicos. La educación ambiental aporta estas competencias al desarrollar pensamiento crítico, alfabetización científica y sensibilidad ética. Un individuo que comprende el ciclo del carbono, la huella ecológica o los límites planetarios puede valorar de forma informada políticas como impuestos al carbono o regulaciones industriales. Más aún, puede exigir transparencia y rendición de cuentas a las instituciones responsables. De este modo, la educación ambiental fortalece la democracia al ampliar la capacidad ciudadana de incidir en decisiones colectivas.

Asimismo, la relación es bidireccional: las políticas públicas también condicionan la educación ambiental. Los currículos escolares, la formación docente y los recursos pedagógicos dependen de marcos normativos y financiamiento estatal. Cuando la sustentabilidad se incorpora como eje transversal en la legislación educativa, la educación ambiental deja de ser actividad aislada y se convierte en principio estructurante del sistema educativo. En cambio, cuando se reduce a programas temporales o proyectos extracurriculares, su impacto se fragmenta y pierde continuidad. Por ello, la institucionalización de la educación ambiental constituye una política pública en sí misma.

La gobernanza ambiental contemporánea exige además considerar la dimensión territorial. Las comunidades locales poseen conocimientos ecológicos relevantes para la gestión sostenible de ecosistemas. Integrar estos saberes en procesos educativos fortalece la legitimidad de las políticas y evita conflictos socioambientales. La educación ambiental, entonces, no solo difunde ciencia, sino que facilita diálogo entre conocimiento académico y conocimiento comunitario. Este intercambio es clave para la gestión participativa del agua, los bosques o la biodiversidad.

En términos democráticos, puede afirmarse que la educación ambiental forma la base cultural de la gobernanza sostenible. Las leyes establecen límites, pero las prácticas sociales determinan su eficacia. Cuando la ciudadanía interioriza valores de corresponsabilidad ecológica, la regulación se transforma en acción colectiva más que en imposición externa. Así, la gobernanza deja de depender exclusivamente de mecanismos coercitivos y se apoya en consensos sociales informados.

La educación ambiental, las políticas públicas y la gobernanza constituyen un sistema interdependiente. La educación proporciona las capacidades cognitivas y éticas necesarias para comprender los problemas ecológicos y participar en su resolución; las políticas públicas establecen los marcos institucionales que orientan las acciones colectivas; y la gobernanza articula a los diversos actores en procesos de decisión democrática. Ninguno de estos elementos es suficiente por sí mismo. Sin educación ambiental, las políticas carecen de legitimidad social; sin políticas públicas, la educación pierde impacto estructural; y sin gobernanza participativa, ambos procesos se vuelven ineficaces. Avanzar hacia la sustentabilidad implica, por tanto, construir simultáneamente cultura ecológica, instituciones coherentes y ciudadanía activa.

Educación ambiental y transformación paradigmática: del antropocentrismo a la sostenibilidad fuerte

Uno de los debates centrales en el campo de la educación ambiental gira en torno al paradigma desde el cual se conceptualiza la relación sociedad–naturaleza. Tradicionalmente, los modelos educativos han estado influidos por una visión antropocéntrica que coloca al ser humano como centro

CC BY NC ND

y medida de todos los procesos naturales, justificando la explotación intensiva de recursos bajo la lógica del progreso ilimitado. Sin embargo, la crisis ecológica contemporánea ha evidenciado los límites biofísicos del planeta y la necesidad de transitar hacia enfoques de sostenibilidad fuerte, donde la integridad ecológica no sea subordinada al crecimiento económico.

La educación ambiental, en su dimensión crítica, promueve precisamente esta transición paradigmática. No se trata únicamente de enseñar prácticas ecológicas, sino de cuestionar las estructuras epistemológicas que han legitimado modelos extractivistas y consumistas. Desde esta perspectiva, la EA debe fomentar una comprensión sistémica de los procesos socioecológicos, integrando principios de complejidad, interdependencia y resiliencia.

La Agenda 2030 impulsada por las Naciones Unidas establece marcos normativos que articulan educación y sostenibilidad, pero su implementación efectiva depende de cómo los sistemas educativos traduzcan estos principios en prácticas pedagógicas concretas. El Objetivo de Desarrollo Sostenible 4.7 enfatiza la necesidad de que los estudiantes adquieran conocimientos y competencias para promover el desarrollo sostenible, incluyendo estilos de vida sustentables, derechos humanos, igualdad de género y cultura de paz. No obstante, el cumplimiento de estas metas requiere una transformación profunda en los currículos, que incorpore análisis crítico de modelos económicos, justicia climática y ética ambiental.

En este sentido, la educación ambiental debe concebirse como educación política en el sentido amplio del término: formación para la participación democrática informada en decisiones que afectan bienes comunes como el agua, el aire y la biodiversidad. La alfabetización ecológica implica comprender no solo los ciclos biogeoquímicos, sino también las dinámicas de poder que configuran la gobernanza ambiental global.

Dimensión ética y construcción de ciudadanía ecológica.

Otro eje fundamental para comprender la contribución de la educación ambiental a la sociedad sustentable es su dimensión ética. La crisis ambiental no es únicamente técnica, sino profundamente moral. Las decisiones que impactan ecosistemas y comunidades futuras involucran juicios de valor acerca de responsabilidad intergeneracional, equidad y derechos de otras especies.

La EA, desde un enfoque axiológico, promueve el desarrollo de una ética del cuidado que trasciende el individualismo y reconoce la interdependencia entre todos los sistemas vivos. Este proceso formativo busca consolidar lo que diversos autores denominan “ciudadanía ecológica”: sujetos capaces de ejercer derechos y asumir responsabilidades ambientales más allá de la esfera privada.

En el ámbito universitario, por ejemplo, la incorporación de proyectos de aprendizaje-servicio ambiental ha demostrado fortalecer el sentido de agencia y compromiso social. Los estudiantes que participan en iniciativas comunitarias de restauración ecológica, gestión de residuos o educación climática desarrollan mayor coherencia entre conocimiento y acción. Este vínculo entre teoría y práctica constituye uno de los pilares de la pedagogía transformadora.

Además, la ciudadanía ecológica implica reconocer la dimensión global de los problemas ambientales. El cambio climático, la contaminación oceánica o la pérdida de biodiversidad son fenómenos transfronterizos que requieren cooperación internacional y gobernanza multinivel. En este contexto, la educación ambiental debe preparar a los estudiantes para comprender escalas locales y globales simultáneamente, promoviendo una conciencia planetaria.

CC BY NC ND

Innovación pedagógica y evaluación de impacto

Un desafío persistente en la educación ambiental es la medición de su impacto real en comportamientos sostenibles. Aunque numerosos programas reportan incrementos en conocimiento ambiental, la evidencia indica que el conocimiento por sí solo no garantiza cambios conductuales duraderos. Por ello, la investigación reciente subraya la importancia de metodologías activas, experienciales y participativas.

El aprendizaje basado en problemas ambientales reales, el trabajo interdisciplinario y el uso de estudios de caso permiten contextualizar los contenidos y conectar la teoría con la vida cotidiana. Asimismo, la integración de tecnologías digitales —como simuladores climáticos o plataformas colaborativas— puede ampliar la comprensión de dinámicas complejas y fomentar la participación estudiantil.

No obstante, la innovación pedagógica debe acompañarse de mecanismos rigurosos de evaluación. Es necesario diseñar instrumentos que midan no solo adquisición de conocimientos, sino desarrollo de competencias socioemocionales, pensamiento sistémico y disposición a la acción colectiva. Las instituciones educativas requieren marcos de evaluación longitudinal que permitan analizar el impacto sostenido de la EA en trayectorias personales y profesionales.

Asimismo, la evaluación debe incorporar evidencias cualitativas: portafolios, proyectos comunitarios, diarios reflexivos o participación en iniciativas locales. Estos instrumentos permiten observar procesos de apropiación del conocimiento imposibles de captar mediante pruebas estandarizadas. La educación ambiental no solo forma individuos informados, sino ciudadanos capaces de deliberar y actuar; por ello, sus resultados se manifiestan en la interacción social.

En última instancia, la educación ambiental solo cumple su propósito cuando el aprendizaje trasciende el aula y modifica la relación entre sociedad y naturaleza. La innovación pedagógica crea las condiciones para que el conocimiento se convierta en experiencia significativa; la evaluación de impacto verifica si esa experiencia se transforma en acción sostenida. Juntas permiten pasar de la sensibilización a la transformación social, objetivo central de toda educación orientada a la sustentabilidad.

METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, con un diseño documental y un alcance descriptivo-analítico. Se adopta la modalidad de ensayo de reflexión crítica, debido a que el propósito es examinar y discutir cómo la educación ambiental, entendida como un proceso formativo integral, puede contribuir a la transición hacia sociedades sustentables. El análisis se centra en la interpretación de aportaciones teóricas, investigaciones académicas y documentos institucionales relacionados con la educación ambiental, la sostenibilidad y la transformación social.

La información se obtuvo mediante una revisión documental de fuentes secundarias, entre las que se consideran artículos científicos, informes de organismos internacionales y documentos normativos vinculados con la Agenda 2030 y la educación para el desarrollo sostenible. Se tomaron como referencia las fuentes citadas en el artículo, incluyendo trabajos sobre resultados de la educación ambiental, enfoques pedagógicos transformadores, políticas públicas y evaluación de competencias ambientales. La revisión tuvo como finalidad identificar conceptos, argumentos y hallazgos pertinentes para el tema; no se planteó como una revisión sistemática ni como un estudio de campo.

CC BY NC ND

El análisis se organizó en cinco ejes temáticos: a) fundamentos y enfoques contemporáneos de la educación ambiental; b) relación entre educación ambiental, políticas públicas y gobernanza; c) transformación de los paradigmas de relación entre sociedad y naturaleza; d) dimensión ética y formación de ciudadanía ecológica; y e) innovación pedagógica y evaluación del impacto educativo. Estos ejes se utilizaron para comparar y relacionar las ideas de las fuentes consultadas, reconocer coincidencias y tensiones, y construir una interpretación articulada con el objetivo central del ensayo.

Finalmente, se realizó una síntesis crítico-interpretativa de la información, relacionando los argumentos revisados con los desafíos de incorporar la educación ambiental de manera transversal, interdisciplinaria y contextualizada en los procesos educativos. Debido a su carácter documental, el trabajo no incluye aplicación de encuestas, entrevistas, experimentos ni mediciones propias; por tanto, sus planteamientos corresponden al análisis de la literatura consultada y no a resultados empíricos obtenidos directamente por los autores.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis documental desarrollado permite sostener que la educación ambiental tiene mayor potencial transformador cuando se aborda como un proceso continuo, contextualizado e interdisciplinario, y no únicamente como transmisión de información. Esta interpretación coincide con el planteamiento central del ensayo: conocer los problemas ambientales es necesario, pero no garantiza por sí mismo cambios sostenidos en las actitudes y prácticas de las personas.

Uno de los aspectos más relevantes es la brecha entre la conciencia ambiental y el comportamiento cotidiano. La literatura citada en el artículo señala que el aumento del conocimiento no siempre se traduce en acciones coherentes con la preocupación por el ambiente. Esto sugiere que las propuestas educativas deben combinar contenidos científicos con experiencias prácticas, reflexión ética, participación comunitaria y oportunidades reales para actuar. No obstante, el alcance de esta conclusión depende de los contextos educativos, sociales y económicos en los que se implementen dichas propuestas.

Asimismo, la revisión conceptual muestra que la responsabilidad ambiental no puede colocarse exclusivamente en el individuo. Las decisiones de consumo y las prácticas comunitarias están condicionadas por infraestructura, recursos disponibles, regulación y políticas públicas. Por esta razón, la educación ambiental debe favorecer tanto la adopción de hábitos responsables como la comprensión crítica de los factores institucionales y estructurales que influyen en los problemas socioambientales.

La relación entre educación ambiental, políticas públicas y gobernanza constituye otro resultado central del análisis. La formación de una ciudadanía informada puede contribuir a que las personas comprendan, evalúen y discutan las decisiones que afectan los bienes comunes. A su vez, la continuidad de los programas educativos requiere respaldo institucional, recursos y formación docente. La educación y las políticas públicas, por tanto, deben entenderse como dimensiones complementarias de una estrategia de sostenibilidad.

El ensayo también destaca la importancia de integrar la dimensión ética y los conocimientos locales en los procesos formativos. La justicia ambiental, la responsabilidad intergeneracional y el diálogo entre conocimiento académico y comunitario permiten comprender que la sustentabilidad involucra tanto la conservación de los ecosistemas como la equidad social y la participación democrática.

En cuanto a las implicaciones pedagógicas, el análisis respalda el uso de proyectos, estudios de caso, aprendizaje basado en problemas y actividades vinculadas con necesidades reales del

CC BY NC ND

entorno. Sin embargo, para determinar su efectividad en contextos específicos sería necesario realizar investigaciones empíricas que evalúen sus resultados a lo largo del tiempo. Este ensayo no presenta mediciones propias ni una evaluación experimental; por ello, sus conclusiones son de carácter crítico-interpretativo y se derivan de las fuentes documentales citadas.

En conjunto, la discusión permite plantear que la educación ambiental puede contribuir a la transición hacia sociedades sustentables cuando se articula con prácticas educativas significativas, participación ciudadana y condiciones institucionales favorables. Su impacto no debe valorarse únicamente por los conocimientos adquiridos, sino también por las oportunidades de deliberación, colaboración y acción colectiva que promueve.

CONCLUSIONES

La educación ambiental constituye un pilar estratégico en la transición hacia sociedades más sustentables, no solo por su capacidad de sensibilizar sobre problemáticas ecológicas, sino por su potencial transformador en la configuración de nuevas racionalidades sociales. A lo largo del análisis se ha evidenciado que la EA, cuando se implementa de manera sistemática, interdisciplinaria y contextualizada, favorece el desarrollo de competencias críticas, agencia ciudadana y comportamientos orientados a la sostenibilidad.

Finalmente, la construcción de una sociedad sustentable requiere que la educación ambiental trascienda el ámbito escolar para convertirse en un proyecto cultural amplio, donde universidades, gobiernos, empresas y sociedad civil asuman corresponsabilidad. Solo a través de una educación que integre pensamiento crítico, ética ecológica y acción transformadora será posible avanzar hacia un horizonte donde desarrollo y sustentabilidad no sean conceptos antagónicos, sino dimensiones complementarias de una nueva civilización ambientalmente consciente y socialmente justa.

REFERENCIAS

Ardoin, N. M., Bowers, A. W., Roth, N. W., & Holthuis, N. (2018). Environmental education and K–12 student outcomes: A review and analysis of research. The Journal of Environmental Education, 49(1), 1–17. https://doi.org/10.1080/00958964.2017.1366155

Cano-Ortiz, A., Piñar-Fuentes, J. C., Musarella, C. M., & Peña-Martínez, J. (2025). Education for environmental sustainability component: Innovative strategies for experiential learning in natural contexts. Education Sciences, 15(6), Article 697. https://doi.org/10.3390/educsci15060697

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Luna-Krauletz, M. D., Juárez-Hernández, L. G., Clark-Tapia, R., Súcar-Súccar, S. T., & Alfonso-Corrado, C. (2021). Environmental education for sustainability in higher education institutions: Design of an instrument for its evaluation. Sustainability, 13(13), Article 7129. https://doi.org/10.3390/su13137129

CC BY NC ND

Medina-Arboleda, I. F., & Páramo, P. (2024). La educación ambiental y para el cambio climático en Latinoamérica: Una revisión de alcance. Suma Psicológica, 31(1), 63–93. https://doi.org/10.14349/sumapsi.2024.v31.n1.8

Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. https://sdgs.un.org/2030agenda

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., III, Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., … Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. Nature, 461(7263), 472–475. https://doi.org/10.1038/461472a

Sauvé, L. (2005). Currents in environmental education: Mapping a complex and evolving pedagogical field. Canadian Journal of Environmental Education, 10(1), 11–37.

Sterling, S. (2010). Transformative learning and sustainability: Sketching the conceptual ground. Learning and Teaching in Higher Education, (5), 17–33.

UNESCO. (2020). Education for sustainable development: A roadmap. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802

Wals, A. E. J. (2015). Beyond unreasonable doubt: Education and learning for socio-ecological sustainability in the Anthropocene. Wageningen University. https://edepot.wur.nl/365312

CC BY NC ND

Estereotipos de género y autodesvalorización femenina, una perspectiva socioeducativa para la conciencia ambiental y la protección de los colibríes

Gender stereotypes and female self-devaluation, a socio-educational perspective for environmental awareness and the protection of hummingbirds

Dina Elizabeth Cortes Coss [1]
Agustín Cortes Coss [2]

RESUMEN

Frecuentemente, féminas recurren a prácticas especiales con la finalidad de cubrir un estereotipo de género impuesto socialmente; éste dicta que es primordial contar con un hombre para que la mujer esté completa, entonces, cuando dichas necesidades no son cubiertas, las mismas acuden a supuestos mágicos para poder subsanar lo relativo a dicha ideología. De lo a priori, la presente investigación permite vincular como es perceptible la disminución de especies animales utilizadas para este fin, lo anterior suscrito en la lista roja de especies amenazadas cuyos reportes. suscriben un decremento de colibrís en México, una causa es el uso y comercio utilizado en rituales para atraer el amor, la salud o el dinero. Por medio de un estudio de casos se pudo tener acceso a brujos, santeros y chamanes que brindaron aportes en torno al tema, permitiendo corroborar la hipótesis de que existe una fuerte relación entre género femenino, autodesvalorización y prevalencia- recurrencia a rituales para obtener amor.

.

PALABRAS CLAVES: autodesvalorización femenina, conservación de la naturaleza, colibrís, peligro de extinción, ritos.

Fecha de recepción: 14 de septiembre, 2026.

Fecha de aceptación: 22 de octubre, 2026.

[1] Profesora de Tiempo Completo. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. dina.cortescs@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0003-4150-1541
[2] Profesor de Tiempo Completo. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. ACORTESCS@uanl.edu.mx, https://orcid.org/0000-0002-0820-6463

ABSTRACT

Frequently, women resort to special practices to cover a socially imposed gender stereotype; This dictates that it is essential to have a man so that the woman is complete, then, when these needs are not covered, they resort to magical assumptions to be able to correct what is related to said ideology. From the a priori, the present investigation allows to link as it is perceptible the decrease of animal species used for this purpose, the above subscribed in the red list of threatened species whose reports. subscribe to a decrease in hummingbirds in Mexico, one cause is the use and trade used in rituals to attract love, health or money. Through a study of cases, it was possible to have access to witches, “santeros” and shamans who provided contributions on the subject, allowing to corroborate the hypothesis that there is a strong relationship between female gender, self-devaluation, and prevalence-recurrence of rituals to obtain love.

KEYWORDS: female self-devaluation, conservation of nature, hummingbirds, danger of extinction, rites.

INTRODUCCIÓN

El interés de realizar esta investigación se suscitó tras atender una plática de la academia de sustentabilidad de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), donde se evidenciaban cifras que muestran la disminución de diversas especies de aves en la región. La acción participativa de los asistentes inclinaba dicha disminución hacia el uso nocivo que hacen algunos seres humanos, al utilizar a estas especies en rituales cuya acción provean de diversas necesidades como lo son la salud, el dinero y el amor.

Bajo dichos supuestos fue interesante el planteamiento que fue presentándose en la indagación adoptada como tema de estudio, al vincular rituales (específicamente aquellos que ofrecen ‘amor’) con personas de sexo femenino en cuya característica esencial resalta la autodesvalorización; de esa manera la hipótesis de partida permite plantear que uno de los factores de disminución de diversas especies animales tales como los colibrís, es consecuencia de actos ritualísticos para el amor, que en su mayoría atienden mujeres que tienen poca autoestima y/o se autodesvalorizan.

La pregunta planteada para esta investigación se formula en términos de: ¿Las mujeres que tienen poca autoestima y/o se autodesvalorizan, en su búsqueda de amor recurren a rituales que involucran diversas especies animales tales como los colibrís?, entonces, el objetivo esencial de esta investigación es determinar cómo la autodesvalorización trasciende a niveles que llegan a atentar con el medio ambiente, en referencia a la búsqueda del amor conducente. Para lo anterior fue adoptada una metodología que permitió vincular los supuestos de partida con un estudio de casos, cuya participación de aquellos expertos en materia de rituales brindaron respuestas que permiten precisar un vínculo permeable que deja cabida a futuras investigaciones en torno al tema del ecofeminismo y cómo este movimiento pudiera contribuir al empoderamiento de mujeres con el perfil descrito en esta investigación.

La figura de la mujer actual ha progresado hasta tener la oportunidad y libertad de desarrollar su propio desempeño, sin embargo, todavía se encuentra expuesta a factores que vulneran el valor que tienen de sí mismas, conduciéndolas a actitudes depresivas que infringen en su autodesvalorización.

En este orden de ideas, se retoma la definición que presenta el autor Bernardo (2018), cuya definición de autodesvalorización es asociada al concepto de depresión, definido como un trastorno mental que involucra factores sociales, psicológicos y biológicos que afectan la situación vital de una persona, entonces, en su caracterización psicológica, según Krauskopf y Valenzuela (2020) se manifiesta como sentimientos de tristeza conducentes al detrimento de interés o placer en

CC BY NC ND

situaciones o acciones que antes se realizaban con cierta normalidad, así mismo, éste trastorno refiere síntomas físicos como pérdida de sueño o del apetito, sensación de cansancio y falta de concentración.

Las cifras sostienen que éste trastorno de desvalorización/ depresión ha llegado a afectar a más de 300 millones de personas en el mundo, sin embargo, el autor Rueda (2018) menciona que según estudios epidemiológicos las mujeres muestran consistentemente una incidencia más alta de trastornos depresivos comparados con los hombres. Respecto a México, cálculos oficiales sugieren que 15 de cada 100 habitantes sufren depresión, pero diagnósticos no oficiales estiman que la cifra supera lo señalado debido a que se ha llegado a considerar que gran parte de la población no ha efectuado el diagnóstico correspondiente, por lo que viven sin saber que tienen esa afección, según sugieren en la página de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 2019).

Krygsman (2017) dicta que las cifras concluyen que, por cada dos mujeres con depresión, un hombre la padece, diferenciándose en que es el género femenino el que intenta suicidarse con mayor frecuencia, sin embargo, pese a que el género masculino tiene menor incidencia, son quienes más aciertos funestos poseen; entre los factores más comunes que inducen a dicha práctica y quebrantan la salud mental se encuentran los presentados por (ídem) y entre los cuales se encuentran la violencia, la economía y aspectos socioculturales.

En el mismo orden de ideas, Jiménez et al., sostienen que la autoestima es:

“una formación psicológica reguladora que se forma sobre la base de la autoconciencia y está orientada hacia la consecución exitosa de sus objetivos motivacionales” y la falta de autoestima se ha convertido en un problema que deteriora la calidad de vida de las personas convirtiéndose en el número uno para mujeres y en la novena para los hombres” (2017, pág. 98)

Al hablar sobre la baja autoestima, Nava et al. (2017), hacen referencia a que cuando una persona la presenta tiene actitudes de rechazo e insatisfacción consigo mismo e incluso puede llegar a exagerar la gravedad de los errores y se puede resaltar que las causas que se relacionan con la pérdida de autoestima en las mujeres, mismas que llegan a desencadenar un comportamiento depresivo conducente a la autodesvalorización, las mismas son: inadaptación en la infancia o adolescencia y los fracasos matrimoniales o laborales; estos factores producen una memoria selectiva que hace que quien se encuentre en esta situación, únicamente recuerde lo negativo de su vida.

Otro aporte en cuanto a la autodesvalorización, es presentado por Molina (2019) quien ha encontrado que hay factores conducentes a la desvalorización gestados por las ideologías y estereotipos de género, por ejemplo:

1. El rol que ejerce una mujer como cuidadora y responsable del bienestar de otras personas ya sean padres, hijos u otros, sin reciprocidad, incluso llegando a renunciar a las propias necesidades o deseos;

2. El apego al imaginario amor complemento ‘media naranja’ (frase utilizada en México para referir a la pareja) alusión que destaca la ideología de que sólo se será completa cuando pertenezca a una pareja y finalmente

3. Su aspecto físico (donde creen que es la belleza a través de la cual son aceptadas y valoradas socialmente).

A partir de las anteriores premisas, se puede considerar que las mujeres son más susceptibles a la desesperación mientras sucede la solución de alguna ruptura amorosa, al respecto, Sierra et al. (2017), la definen como un suceso traumático, amargo y penoso que pueden sufrir los seres humanos y optan por métodos como los rituales para obtener suerte en el amor, evitar la infidelidad de su cónyuge o fortalecer el vínculo con la persona amada, mismas que cuando no se tiene el control se deberá recurrir a diversas prácticas tales como los llamados “amarres de amor”.

CC BY NC ND

Los colibríes son considerados como una de las aves polinizadoras más importantes del continente americano por la relevancia que tienen dentro del equilibrio ecológico, éstas especies de tamaño pequeño pertenecen a la familia Trochilidae, y entre las características físicas presentadas por Márquez (2018) se encuentran: patas pequeñas, cerebro grande (pudiendo representar el 4.2% de su peso corporal), aguda visión, picos y alas largas permitiéndoles volar de forma rápida y ágil entre 80 y 200 aleteos por segundo.

En cuanto a su distribución natural, las especies de colibríes suelen encontrarse más en zonas tropicales que en zonas templadas, sin embargo es posible avistarlos en una diversidad de ecosistemas tales como playas, zonas desiertas, selvas húmedas y secas, bosques templados e incluso en urbes sobrepobladas en los parques y jardines (Márquez, 2018), como es perceptible, son especies flexibles respecto a la preferencia de su hábitat, puesto que buscan “protección de la precipitación, temperaturas extremas y radiación solar directa, llegando a demostrar que la ubicación de la percha y del nido depende de variaciones micro climáticas y de hábitat muy concretas”

En la última evaluación de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN de finales del 2018 y principios de 2019 (IUCN, 2020), se señaló que, en México, siete de esta especie se incluyen en la categoría de preocupación menor’, la especie Coqueta de cresta corta se encuentra en ‘peligro crítico’, el colibrí de Oaxaca en categoría ‘en peligro’, mientras que dos especies (colibrí de cola blanca y ninfa mexicana) se categorizan como ‘vulnerables’.

Respecto a la tendencia poblacional en general, la Lista Roja de Especies Amenazadas (UICN, 2020), pone en evidencia que ésta especie ha ido decreciendo debido a factores tales como el uso y comercio (mascotas / animales de exhibición), incluso en el plano internacional.

La Ley General Del Equilibrio Ecológico y la Protección Al Ambiente define el equilibrio ecológico como “la relación de interdependencia entre los elementos que conforman el ambiente que hace posible la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos” (Gobierno de México, 2021, p. 3), y a través de esta definición se puede evidenciar como el hombre interactúa con los ecosistemas y los elementos que lo integran, llegando a demostrar un impacto negativo en dicha interacción, efectos perceptibles en los últimos años registrados en este mismo informe.

De acuerdo con Altamirano, “una especie se extingue cuando desaparecen los últimos individuos biológicamente viables”, mientras que las especies con un menor número de población son las que se denominarían en ‘peligro de extinción’ (2019, pág. 3)

En el Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2019) señala que dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 se engloba un total de 2,581 especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo de extinción, divididos como sigue: árboles y plantas, con un número de 949 especies, reptiles con 443 especies, las aves con 392, mamíferos con 291, peces 204 y anfibios 194.

Prioritario es destacar que la caza indebida de estas especies (incluyendo su uso en rituales o cualquier otra cosa) es ilegal, de acuerdo con el Artículo 420 del código penal federal de la Procuraduría Federal de Protección ambiental, el cual establece multas y penas de hasta 9 años de prisión para quien de manera ilícita: “realice cualquier actividad con fines de tráfico, o capture, posea, transporte, acopie, introduzca al país o extraiga del mismo, algún ejemplar… de una especie de flora o fauna silvestres, terrestres o acuáticas en veda, considerada endémica, amenazada, en peligro de extinción, sujeta a protección especial, o regulada por algún tratado internacional del que México sea parte” (PROFEPA, 2021) dejando claro con lo anterior, que la captura de colibrís (por ser caso del estudio) para su uso (sea ritualístico o personal) es ilegal”.

Para comenzar este apartado, preciso es definir el concepto de atadura y/o ritual.

El término atadura viene del concepto griego κατάδεσμος, “maldición vinculante” (katadesmos, plural katadesmoi), que era usado por algunos autores como Platón, encontrados en investigaciones como

CC BY NC ND

la presentada por el autor Georg Luck (1846) y significa atar, contener. Del mismo sentido, el concepto de ritual es definido por Aten (2019) como una expresión cultural que permite reconocer y expresar la cosmovisión, por ser esta la que vincula personas o seres divinos con el entorno natural; los rituales se practican a través de ofrendas, danzas, cantos, gestos o actuaciones que son realizados con frecuentes repeticiones por personas relacionadas culturalmente, en lugares y tiempos determinados.

La disputa platónica sobre la naturaleza del amor pertenece principalmente a la terminología de los misterios griegos, que en relación con el erotismo comenzaron las prácticas de la magia de atadura.

Esta magia de atadura representaba para los griegos y romanos el avivamiento del heros o deseo, y la misma sucedía mediante el uso de muñecos, tablas y velas, la intención era la de solicitar la intercesión del Dios griego Pan, quien, a su vez, compartía funciones con la Diosa Afrodita, representada como la regente de la seducción (Aten, 2019); ambos eran buenos en la tarea del despertar de las pasiones.

El punto de partida de esta investigación es aquel que vincula dichos rituales con los colibrís y cuya relevancia cultural se encuentra dentro de las supersticiones y mitologías, específicamente mexicanas (por el contexto del estudio), ya que, a través de la historia y hasta la actualidad, al colibrí se le ha asociado con la buena suerte, el amor y los buenos deseos, probablemente por su función ecológica como polinizador que se puede relacionar con el amor y la fecundidad. Pero un supuesto más certero, lo ofrece Tena (2018) quien en sus investigaciones sostiene que 'Huitzilopochtli, cuyo significado es colibrí del sur, era el Dios mexica de la guerra, y se representaba con borlas de plumas de colibrís, por la creencia de que estos transportan los buenos pensamientos del mundo de los muertos; entonces, es así que los colibrís constituyen parte de diversas historias y mitos relacionados al amor por sus consideraciones simbólicas (asociadas con deidades) en diversas culturas. Ejemplo de lo anterior, lo presenta Bautista (2019) al describir como en la práctica de la medicina prehispánica se utilizaban las plumas del Huitzizili (nombre náhuatl del colibrí) para rituales asociados a curas del desamor, de atracción romántica o para curar enfermedades de transmisión sexual.

Más tarde, específicamente, en la época de la Colonia, es que comienza a hacerse latente el uso de colibríes muertos para ser usados como símbolos de buena suerte y fortuna en amores. Existía la creencia según sostiene Bautista (2019) de que usar collares con plumas de colibrí servía para invocar la llegada de un nuevo amor; sin embargo, preexisten textos inquisitivos que narran cómo algunas mujeres fueron juzgadas por utilizar al colibrí en rituales y amuletos.

Con lo anterior, es perceptible como desde tiempos prehispánicos, pasando por la edad media, los colibrís han sido usados como amuletos para el amor, dando como resultado el inicio de una ávida forma de comercio donde una gran cantidad de colibríes momificados son utilizados para la elaboración y venta de amuletos y pócimas para la atracción y la fidelidad de la pareja sentimental.

De acuerdo con un artículo publicado en el sitio de National Geographic (Ebersole, 2018) se pone en evidencia cómo actualmente los colibríes se siguen vendiendo en los mercados clandestinos y cuya finalidad continúa siendo la misma (predominio en amarres y realizar brujería para el amor). En una fuente no oficial, "sinembargo.mx" (Lira, 2018), precisó que: "las diminutas aves son inyectadas con agua oxigenada o peróxido para provocarles la muerte y así afectar lo menos posible su apariencia", sustento afirmado también por la IUCN (2020).

Investigaciones realizadas por UNAM GLOBAL (2019) y National Geographic (Rene Ebersole, 2018) identificaron que en los mercados de la capital de sonora (mercado Benito Juárez), Querétaro (mercado Escobedo) y en la Ciudad de México (mercado de Sonora) es muy común encontrar brujos especialistas en amores que ofrecen a esta ave ya muerta, para rituales y amuletos que comienzan con una lectura de cartas para detectar así el amarre necesario, posterior a ello se sugieren algunos rituales (Ebersole, 2018), (UNAM GLOBAL, 2019) entre los que se encuentran: untarla con miel, aves para ser envuelta en la ropa interior, para que se coloque debajo de la almohada del ser amado, disecados, vestidos de rojo o envueltos en papel celofán rojo, para servirse con comida (corazón de

CC BY NC ND

colibrí para amor y enfermedades cardiacas o epilepsia), llenos de hierbas, con incienso, velas, aceites, con estatuas de la Santa Muerte y borlas de seda con una oración de amor que debe conjurarse, la misma es:

“Divino colibrí..., con tu poder santo te pido que mejores mi vida y el amor de tal forma que mi amante solo me desee a mí” (Ebersole, 2018).

Cabe precisar que las prácticas anteriores, rondan desde los 350 hasta los dos mil pesos mexicanos dependiendo del tipo de ritual; al respecto de lo anterior, sostiene Sánchez que se está mercantilizando la fe (2019, pág. 290)

METODOLOGÍA

Esta investigación tiene una hipótesis de partida que suscribe que es el género femenino el que más recurre a prácticas esotéricas que involucran el uso de animales, llegando a contribuir con el uso indebido de especies en peligro de extinción. A través de un estudio cuantitativo llevado a cabo por medio de un estudio de casos virtual, se pudo encuestar a brujos, chamanes y santeros que ofrecen diversos servicios., a lo largo de diversos países.

La muestra estuvo conformada por veinte grupos o personas (sin importar si es magia blanca o negra), algunos de los encuestados fueron: El brujo Shiva (España), Centro Indrasbarga (México), Valeria Durga Kanya shakty healing (México), grupo rituales de amor (Sudamérica), grupo rituales y amarres de amor, grupo de magia negra (Cuba), magia blanca para el alma (Colombia), rituales a distancia, brujas y rituales, santería y espiritismo (Cuba), entre otras.

El instrumento de recaudación de datos consistió en una encuesta en línea con las siguientes preguntas:

1. ¿Qué tipo de magia practica usted?

2. En su experiencia, ¿cuál género, masculino o femenino, recurre más a sus servicios?

3. ¿Qué es lo que más buscan las personas que recurren a usted? (Salud, dinero, amor otros)

4. ¿Cuáles son las herramientas o instrumentos que utiliza para la elaboración de dichos rituales?

5. ¿Por qué crees que la gente recurra a estas prácticas?

Dicha encuesta permitió cuantificar los resultados tal como se presenta en el apartado subsiguiente.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Imán y Martín Casares (2018), sostienen que “las mujeres son más visibles discursivamente que los hombres en estas prácticas debido a la construcción histórica del estereotipo de género femenino, que liga a las mujeres con la maldad, con el amor y la dependencia de las relaciones afectivas” (p. 150), lo anterior, sea por curiosidad o por la búsqueda de resultados respecto a sus problemas de amor.

Revisando periódicos locales, como “Sinaloa en línea” (2020), se encontró una fuente no oficial (por no pertenecer a una base de datos especializada, pero de trascendencia para el estudio)

CC BY NC ND

Donde un nigromante de la localidad, llamado 'brujo Alexander', sostiene que los hechizos son ideales para solucionar problemas que puedan surgir si no funciona una relación como a una persona le gustaría, al tiempo en que refleja que son las mujeres (de todas las edades: secundaria a adultas) quienes más solicitan este tipo de servicios.

Según una encuesta sobre la creencia de la gente de acuerdo a su género, religión y edad, realizada por Garcés & Borrego (2019), se muestran cifras estadísticas donde el índice de credulidad es menor en hombres, representado por el 62.9%, mientras que el 42.4% corresponde a mujeres menores de 30 años, quienes sostienen que confían más en las lecturas de Tarot, el horóscopo y las cartas.

En el estudio de caso propio los resultados fueron los siguientes:

• Se considera a las veinte encuestas enviadas vía electrónica a grupos o personas que ofrecen servicios esotéricos, como el 100%.

• De la primera cuestión, la correspondiente al tipo de magia practicada por los encuestados, las opciones fueron: 90% magia blanca,9% negra y 1 % otras (verde).

• Referente al género que recurre con mayor frecuencia a este tipo de prácticas, el 99% respondió que son las mujeres las que más acuden, contra un 1% correspondiente a los hombres.

En cuanto a lo que más se solicita las encuestas reflejaron que un 60% busca amor, atraer o retener una pareja (hacer que personas se enamoren de una en particular), 30% recurre por cuestiones de salud (bienestar o sentirse bien consigo mismas, tener paz y tranquilidad) y un 10% recurre a estas prácticas para atraer dinero o trabajo.

Recordase que la mayoría de quienes decidieron contestar la encuesta trabajan con magia blanca (abriendo un supuesto de partida a otra indagación de el por qué pocos practicantes de santería o magia negra respondieron) por lo que entre las respuestas referente a las herramientas que utilizan, predominan las de magos blancos, consintiendo el 51% herramientas como cartas, velas, hiervas, sus propias manos, mente, energía, piedras o cuarzos, cuencos, inciensos.

Aquellos practicantes de magia negra, incluyendo santería (representada por 49% restante), destacaron las siguientes herramientas: velas, sangre u otros fluidos corporales de humanos o de animales, animales (ratas, sapos, gallinas y otras aves, murciélagos, entre otros) vivos o muertos, cabello, piel, uñas de seres humanos, objetos, prendas de vestir o incluso preservativos de una persona en particular (a la que se quiere hechizar).

Finalmente, sobre el porqué se cree que las personas recurran a estas prácticas el 90% refiere a que porque ellos no tienen los medios ni la experiencia ya sea para lograr el amarre o para sanarse por sí mismos, un 5% definió que no sabrían a quién invocar para pedir el favor y el otro 5% porque temen enfrentarse con espíritus, muertos o deidades de panteones específicos.

En general, los resultados obtenidos a partir de las respuestas evidenciaron que las mujeres son el principal consumidor o quienes más recurren a este tipo de prácticas esotéricas, y dependiendo el tipo de magia utilizada es el tipo de herramienta que se utilizan, lo destacable es que unos practicantes llegan a utilizar animales, mientras que otros apuntan por convivir respetuosamente con la naturaleza.

CC BY NC ND

CONCLUSIONES

La propagación de rituales genera mitos que se perpetúan generacionalmente, sin que estas lleguen a considerar los efectos negativos que suceden en el entorno o en terceros, tal como lo es el uso de seres vivos en este tipo de prácticas.

De la bibliografía consultada sobre los rituales paganos en congruencia con el impacto ambiental, los documentos históricos y etnográficos investigados no representan o prestan especial atención al género, es decir, no mostró referencias explícitas sobre si son los hombres o las mujeres quienes recurren con regularidad a estas prácticas.

Debido a las escasas referencias existentes se vio en la necesidad de indagar con practicantes directos como brujos, chamanes, santeros, etc., llegando a evidenciar que la participación de las mujeres en rituales es más recurrente que la de los hombres, coyuntura que sumada a las estadísticas presentadas de cifras de personas depresivas y con autodesvalorización, se puede subrayar una estrecha relación entre lo anterior con el proceso de comercialización de los rituales, mismos que son concretados cuando las condiciones personales de quien lo solicita son subsanadas. Si es bien sabido que la autodesvalorización no es propiamente una condición de las mujeres, con esta investigación pudo ser perceptible que es el género femenino más susceptible a ésta, llegando a dañar su propia identidad puesto que se piensa que aquella mujer que requiera de algún tipo de hechizo o ritual para poder conseguir a un buen hombre es porque no podría hacerlo por sí misma.

Cabe precisar que la dependencia de la mujer por tener a un hombre a su lado es un estereotipo existente desde hace varios años, y un símbolo de autodesvalorización femenina, ya que el valor de una persona ‘a’ es determinada por una persona ‘b’, demostrando con ello que ‘a’ no tiene identidad ni valor sin ‘b’, conduciendo a una frenética búsqueda de pareja para que la ideología sea cubierta.

Este tipo de pensamiento ha traído consigo otros problemas, por ejemplo, la idealización del amor ha llevado a las mujeres a obtener dicha pareja pese a cualquier circunstancia, y cuando las condiciones sociales no aplican, la alternativa será la búsqueda del amor a través de fuerzas desconocidas como el misticismo, la espiritualidad y el esoterismo, llevándolas a practicar rituales para poder conseguir así al hombre ideal, mediante la utilización de diversos instrumentos como los mencionados en el texto, que incluso involucran animales para conseguir el amor y la fidelidad de un hombre.

Un caso interesante para reflexionar es el cómo la participación de grupos ecofeministas, buscan el empoderamiento mediante la erradicación de dichos estereotipos para que, en su lugar, se pueda promover el vínculo entre naturaleza y mujeres, para que estas puedan tener una transformación en sus relaciones.

Es trascendental que la mujer comience a pensar en sí misma y deje de lado la ideología de la presión social existente, que no tiene un fundamento establecido, como lo tiene la educación profesional (incursión de mujeres en la ciencia), el desarrollo personal, entre otros.

Ahora bien, en cuanto a la intervención antropogénica se pudo destacar que el deterioro de los ecosistemas y la extinción o disminución de diversas especies se debe al tráfico ilegal o uso nocivo de animales para diversas prácticas como las mencionadas a priori; y si bien es cierto que en los textos antiguos el colibrí es usado para el amor, estos no hacen referencia mortuoria a la forma o implementación de estos, ya que la tradición dicta que los colibrís vivos atraen los buenos deseos.

Considerar la función de estas aves en el ecosistema, es fundamental debido a que estas especies polinizan plantas de uso alimentario de los seres humanos, por lo tanto, la implementación de

CC BY NC ND

medidas bajo enfoques de protección al medio ambiente y que a su vez contribuyan al empoderamiento de la mujer, deberían priorizarse.

REFERENCIAS

Altamirano, M. A. (2019). Ecología térmica y riesgo de extinción ante el cambio climático de Gonatodes concinnatus (Squamata: Sphaerodactylidae), una lagartija endémica de la Amazonía occidental. Revista mexicana de biodiversidad, 90., 1-12.

Aten, J. D. (2019). The psychological study of religion and spirituality in a disaster context: A systematic review. . Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy, 11(6), 400 - 597. https://doi.org/10.1037/tra0000431

Bernardo, M. d. (2018). Indicadores de calidad en el tratamiento de pacientes con depresión, trastorno bipolar o esquizofrenia. Estudio de consenso. Revista de Psiquiatría y Salud M, 11(2), 66-75. https://doi.org/10.1016/j.rpsm.2017.09.002

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). Ceremonial y ritual. https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/ceremonial-y-ritual https://doi.org/10.1016/j.rccar.2017.12.007

Garcés, C. R. R. y Orrego, M. V. (2019). Entre milagros, espíritus y esoterismo: pensamiento mágico y pseudociencia en el Chile globalizado del siglo XXI. Universitas Psychologica, 18(4), 1-13. https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy18-4.emee

Gobierno de México. (03 de Febrero de 2021). Ley General del Equilibrio Ecológico y protección al Ambiente de Secretaría General. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_180121.pdf

Imán, M. y Martín Casares, A. (2018). La magia de amor en la cuba de la edad moderna y su reflejo contemporáneo: ¿una práctica femenina y subversiva? Trocadero, (30), pp. 147-165. https://doi.org/10.25267/trocadero.2018.i30.09

International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. (2020). The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2020-4. Disponible en https://www.iucnredlist.org

Jiménez, M. D. L. V. M., García, A., González, G. C. y Ruiz, C. S. (2017). Violencia en el noviazgo, dependencia emocional y autoestima en adolescentes y jóvenes españoles. Revista iberoamericana de psicología y salud, 8(2), 96-107. https://doi.org/10.23923/j.rips.2017.08.009

Krauskopf, V. y Valenzuela, P. (2020). Depresión perinatal: detección, diagnóstico y estrategias de tratamiento. Revista Médica Clínica Las Condes, 31(2), 139-149. https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2020.01.004

CC BY NC ND

Krygsman, A. &. (2017). Longitudinal associations between depression symptoms and peer experiences: Evidence of symptoms-driven pathways. Journal of Applied Developmental Psychology, 51, 20-34. https://doi.org/10.1016/j.appdev.2017.05.003

Márquez, Luna, U., Lara, C., Corcuera, P., y Valverde, P. L. (2018). Efecto del tamaño corporal y distancia evolutiva en las interacciones agonísticas de colibríes (Trochilidae). Revista mexicana de biodiversidad, 89(1), 149-162. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.1.1876

Molina, D. C. (2019). La violencia de género desde un enfoque multidisciplinario. Fondo Editorial–Ediciones Universidad Cooperativa.

Nava, N. V., Onofre, R. D., y B. Hernández (2017). Autoestima, violencia de pareja y conducta sexual en mujeres indígenas. Enfermería universitaria, 14(3), 162-169. https://doi.org/10.1016/j.reu.2017.05.002

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (03 de febrero de 2021). Delitos contra la biodiversidad, código penal federal. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/6585/1/mx.wap/delitos_contra_la_biodiversidad.html

Rueda, M. A. (2018). Depresión en la mujer. Revista Colombiana de Cardiología, 25, 59-65.

Sánchez, M. I. (2019). Miguel de Cervantes, precursor de Pinel. Revista de la Asociación Española de Neuropsiquiatría, 39(135), 288-291.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2018: Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. México: SEMARNAT. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Informe2018GMX_web.pdf

Sierra, V. E., Rodríguez, J. L. S. y Torres-Torija, C. S. (2017). Incidencia del duelo en la ruptura amorosa en estudiantes universitarios en un Centro de Crisis, Emergencias y Atención al Suicidio (CREAS). Journal of Behavior, Health & Social Issues, 9(2), 27-35.

Tena, R. (2018). La religión mexica. Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Lira, I. (2018, 26 mayo). Colibríes: el ave de la fecundidad vuela amenazada en México por venta ilegal y daño a su hábitat. https://www.sinembargo.mx/26-05-2018/3418127

Sinaloa en Línea. (2020, 19 junio). El amarre de amor; el hechizo más pedido por mujeres. [Archivo de video]. https://www.youtube.com/watch?v=Tj3BHQYb5aE&feature=youtu.be

UNAM Global. (2019, noviembre 4). Colibríes en peligro por amarres de amor en brujería. [Archivo de Video]. https://www.youtube.com/watch?v=IK3_0VqxFGQ

CC BY NC ND

Ebersole, R. (2018, 16 de agosto). Dentro del misterioso mundo del comercio ilegal de colibríes. National Geographic. https://www.nationalgeographic.es/animales/2018/04/dentro-del-misterioso-mundo-del-comercio-ilegal-de-colibries

Luck, G. (1846). Arcana Mundi: Magic and the Occult in the Greek and Roman Worlds. Johns Hopkins University Press.

CC BY NC ND

Valorización de fibras celulósicas provenientes de papel impreso con potencial aplicación en membranas biomédicas

Valorization of cellulosic fibers derived from printed paper with potential application in biomedical membranes

Emilio Pérez Pacheco [1]
Alejandro Ortiz Fernández [2]
Mario Adrián de Atocha Dzul Cervantes[3*]

RESUMEN

La recuperación de fibras celulósicas provenientes de papel impreso representa una alternativa para la valorización de residuos y su aprovechamiento en materiales de mayor valor agregado. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar comparativamente las tecnologías de destintado y purificación empleadas para recuperar fibras celulósicas a partir de residuos de papel, considerando las condiciones de procesamiento, las propiedades fisicoquímicas, las limitaciones y el potencial de aplicación en membranas biomédicas. Se realizó una revisión bibliográfica analítico-comparativa de investigaciones publicadas entre 2020 y 2026 relacionadas con tratamientos físicos, químicos y enzimáticos, así como con técnicas de caracterización de fibras recuperadas. Los resultados muestran que el tipo de tratamiento puede favorecer las propiedades de las fibras celulósicas recuperadas. Asimismo, las técnicas FTIR y TGA complementan la evaluación de las características químicas y térmicas de las fibras, aunque por sí solas no demuestran la eliminación completa de los contaminantes. La información analizada indica que no existe un tratamiento único aplicable a todas las fibras secundarias, por lo que su selección debe considerar la materia prima y la aplicación final. El aprovechamiento de la celulosa recuperada en membranas biomédicas resulta prometedor, pero requiere evaluaciones posteriores de la pureza, las propiedades funcionales y la seguridad biológica.

PALABRAS CLAVES: recuperación de fibras; purificación celulósica; valorización de residuos; caracterización fisicoquímica; membranas celulósicas.

Fecha de recepción: 11 de septiembre, 2026.

Fecha de aceptación: 23 de octubre, 2026.

[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Calkiní. Cuerpo Académico Bioprocesos. Av. Ah Canul SN por Carretera Federal, C.P. 24900, Calkiní, Campeche, México. https://orcid.org/0000-0003-2242-1183. Autor para correspondencia: eperez@itescam.edu.mx
[2]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Calkiní. Cuerpo Académico Bioprocesos. Av. Ah Canul SN por Carretera Federal, C.P. 24900, Calkiní, Campeche, México. https://orcid.org/0000-0002-9689-2124, aeortiz@itescam.edu.mx
[3]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Calkiní. Cuerpo Académico Bioprocesos. Av. Ah Canul SN por Carretera Federal, C.P. 24900, Calkiní, Campeche, México. https://orcid.org/0000-0002-9095-7281, maadzul@itescam.edu.mx

CC BY NC ND

ABSTRACT

Recovering cellulosic fibers from printed paper offers an alternative for waste valorization and their use in higher-value materials. This study aimed to compare deinking and purification technologies used to recover cellulosic fibers from paper waste, considering processing conditions, physicochemical properties, limitations, and potential applications in biomedical membranes. This analytical-comparative literature review covered research published between 2020 and 2026 on physical, chemical, and enzymatic treatments, as well as techniques for characterizing recovered fibers. The results indicate that the type of treatment can enhance the properties of the recovered cellulosic fibers. Furthermore, FTIR and TGA techniques complement the assessment of the chemical and thermal characteristics of the fibers, although they do not, on their own, demonstrate the complete removal of contaminants. The results suggest that no single treatment applies to all secondary fibers; therefore, the choice of method must consider the raw material and the intended final application. Using recovered cellulose in biomedical membranes is promising, but it requires further evaluation of purity, functional properties, and biological safety.

KEYWORDS: fiber recovery; cellulosic purification; waste valorization; physicochemical characterization; cellulosic membranes.

INTRODUCCIÓN

El aumento en la generación de residuos ha impulsado el aprovechamiento de materiales secundarios como materias primas para elaborar productos de mayor valor agregado. Entre ellos, el papel residual constituye una fuente importante de fibras celulósicas que pueden recuperarse mediante tratamientos físicos y químicos. Sin embargo, la presencia de tinta, cargas minerales, agentes de encolado y otros aditivos puede modificar las propiedades de las fibras y limitar su aprovechamiento posterior. En este sentido, la recuperación y purificación de fibras secundarias depende tanto de la composición de la materia prima como de las condiciones de procesamiento utilizadas [1, 2].

El destintado es una etapa fundamental para separar las partículas de tinta adheridas a las fibras. Los procedimientos convencionales comprenden operaciones de desintegración, tratamientos químicos, flotación y lavado; no obstante, se han desarrollado alternativas enzimáticas y físicas para mejorar la eficiencia del proceso. Se ha reportado que el uso de combinaciones enzimáticas puede favorecer las propiedades ópticas y mecánicas de las pulpas recuperadas [3], mientras que el pretratamiento mediante ultrasonido, solo o combinado con enzimas, puede facilitar el desprendimiento de la tinta mediante fenómenos asociados a la cavitación [4].

Después del destintado, pueden aplicarse tratamientos adicionales de purificación para reducir los componentes residuales. Entre ellos se encuentran los tratamientos alcalinos y las secuencias libres de cloro elemental (Elemental Chlorine Free, ECF), que emplean agentes oxidantes y etapas de extracción alcalina. Sin embargo, las condiciones de estos procesos deben controlarse, ya que pueden modificar la estructura molecular de la celulosa [5]. Por ello, la evaluación de las fibras recuperadas requiere considerar tanto la eliminación de contaminantes como la conservación de sus propiedades químicas y térmicas.

El aprovechamiento de la celulosa recuperada también ha despertado interés en la fabricación de películas y membranas. Se han obtenido membranas de nanocelulosa a partir de diferentes residuos de papel, y se ha observado que tanto la materia prima como las condiciones de procesamiento

CC BY NC ND

influyen en su estructura y propiedades [6, 7]. En el área biomédica, la celulosa y sus derivados presentan potencial para desarrollar materiales funcionales; sin embargo, cuando proceden de residuos impresos, debe considerarse la posible presencia de contaminantes y la necesidad de evaluar su bioseguridad antes de determinar su viabilidad para el contacto con sistemas biológicos [8, 9].

En este sentido, las tecnologías de destintado y purificación constituyen etapas determinantes en la valorización de fibras procedentes de papel impreso. No obstante, las diferencias entre las materias primas, los tratamientos y los métodos de caracterización dificultan el establecimiento de criterios generales de selección. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue analizar comparativamente las tecnologías de destintado y purificación utilizadas para valorizar fibras celulósicas provenientes de papel impreso, mediante la revisión de sus condiciones de procesamiento, características fisicoquímicas y principales limitaciones, a fin de establecer su potencial de aprovechamiento en el desarrollo de membranas destinadas al ámbito biomédico [1].

JUSTIFICACIÓN

La recuperación de fibras celulósicas procedentes de papel impreso constituye una alternativa para valorizar los residuos y ampliar sus posibilidades de aprovechamiento. Sin embargo, la presencia de tinta, cargas minerales y otros componentes incorporados durante la fabricación e impresión puede limitar las propiedades de las fibras recuperadas. En consecuencia, resulta necesario analizar las tecnologías de destintado y purificación disponibles, considerando sus condiciones de procesamiento, sus mecanismos de separación y sus efectos sobre la composición y las propiedades de la celulosa.

Asimismo, la evaluación de los parámetros de composición y el uso de técnicas como FTIR y TGA proporcionan información sobre las características químicas y térmicas de las fibras tras su recuperación. Este análisis adquiere mayor importancia cuando se plantea su posible transformación en membranas destinadas al ámbito biomédico, ya que el uso de celulosa proveniente de papel impreso requiere considerar tanto sus propiedades fisicoquímicas como la posible presencia de componentes residuales. Por ello, la comparación de las tecnologías disponibles permitirá identificar sus ventajas, limitaciones y criterios de selección, así como establecer las evaluaciones complementarias necesarias para orientar futuras investigaciones sobre materiales celulósicos con potencial de aplicación biomédica.

METODOLOGÍA

La presente investigación fue desarrollada mediante una revisión bibliográfica de carácter descriptivo y analítico-comparativo, y está orientada al estudio de procesos de destintado y purificación para recuperar fibras celulósicas procedentes de papel impreso, así como a la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas y a su posible aprovechamiento para el desarrollo de membranas biomédicas. La investigación se fundamentó en el análisis de la información científica publicada, considerando los procesos de recuperación, las condiciones de procesamiento y los métodos de caracterización empleados para determinar las propiedades de los materiales obtenidos.

Para la recopilación de información, se analizaron artículos científicos publicados entre 2020 y 2026, disponibles en revistas de alto impacto enfocadas en ingeniería de materiales, tecnología de la pulpa y el papel, polímeros y biomateriales. La búsqueda bibliográfica se orientó hacia publicaciones disponibles en plataformas editoriales de alto impacto internacional, utilizando combinaciones de palabras clave en inglés y español, entre ellas waste paper, printed paper, cellulose recovery, deinking, ultrasound-assisted deinking, cellulose purification, bleaching, cellulose membranes y

CC BY NC ND

biomedical applications. Se priorizaron investigaciones que describieran procedimientos experimentales para la recuperación y purificación de fibras secundarias, así como estudios relacionados con el procesamiento y la caracterización de materiales poliméricos.

La selección de los documentos se estableció considerando su relación con los procesos de destintado y purificación, la descripción de las condiciones experimentales y la disponibilidad de resultados que permitieran identificar modificaciones en las propiedades de las fibras de celulosa. Se consideraron investigaciones que utilizaran tratamientos físicos, químicos y enzimáticos, como ultrasonido, flotación, lavado y secuencias de blanqueo. Asimismo, se incorporaron estudios sobre el procesamiento y la caracterización de membranas celulósicas, con el fin de identificar posibles aplicaciones biomédicas para el aprovechamiento de las fibras recuperadas. Para la comparación de los procesos, se distinguieron las investigaciones realizadas con papel impreso de aquellas que utilizaron fibras secundarias, debido a las diferencias en la composición y las características de las materias primas.

Posteriormente, la información se organizó en función de los autores, el año de publicación, el tipo de materia prima, la tecnología utilizada, las condiciones de procesamiento y de caracterización, así como de los principales resultados reportados. Para evaluar las modificaciones asociadas a los tratamientos de destintado y purificación, se analizaron los contenidos de α-, β- y γ-celulosa, el número Kappa y las cenizas, siempre que estuvieran disponibles. De manera complementaria, se consideraron los resultados fisicoquímicos obtenidos mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés) y análisis termogravimétrico (TGA, por sus siglas en inglés), con el fin de identificar cambios en las características químicas y en el comportamiento térmico de las fibras recuperadas.

El análisis se realizó mediante la comparación de las condiciones experimentales y de los resultados de las investigaciones. Los datos reportados se organizaron en tablas para facilitar la identificación de diferencias y tendencias entre los tratamientos. Cuando las condiciones experimentales o los procedimientos de caracterización no fueron equivalentes, los resultados se examinaron de forma individual, evitando establecer comparaciones directas entre parámetros determinados bajo condiciones distintas. Asimismo, con la finalidad de identificar los factores que pueden influir en la calidad de las fibras celulósicas recuperadas, se consideraron las limitaciones de los procesos y de las técnicas de caracterización empleadas.

Finalmente, la información se integró mediante un análisis comparativo de las tecnologías de desintoxicación y purificación, de las modificaciones en la composición y las propiedades fisicoquímicas de las fibras, y de sus perspectivas de aprovechamiento para el desarrollo de membranas biomédicas. Para esta última evaluación se consideraron las características generales requeridas para materiales celulósicos destinados a aplicaciones biomédicas, diferenciando las propiedades demostradas experimentalmente de aquellas que requieren estudios complementarios de pureza, biocompatibilidad y desempeño funcional. Este análisis permitió establecer algunos factores para la valorización de alternativas de recuperación de fibras provenientes de residuos de papel e identificar las principales limitaciones y oportunidades para su aprovechamiento en materiales de mayor valor agregado.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Análisis comparativo de las tecnologías de destintado y purificación de fibras celulósicas

CC BY NC ND

La recuperación de fibras celulósicas a partir de residuos de papel se ha estudiado mediante diferentes procesos físicos, químicos y enzimáticos, cuya eficacia depende de las características de la materia prima, del tipo de impresión y de las condiciones de procesamiento. La revisión de las investigaciones permitió identificar que las tecnologías utilizadas presentan diferencias en sus mecanismos de acción y en las propiedades que buscan mejorar. Mientras que algunos tratamientos se orientan principalmente a la separación de partículas de tinta, otros se enfocan en la remoción de cargas minerales, la eliminación de componentes residuales y la conservación de las características estructurales de las fibras. Estas diferencias resultan importantes para establecer criterios de selección de los procedimientos de recuperación, particularmente cuando se pretende aprovechar la celulosa en aplicaciones distintas de la fabricación convencional de papel.

Entre las alternativas estudiadas, el destintado enzimático ha mostrado resultados favorables en la recuperación de fibras secundarias. En una investigación [3], los autores utilizaron una combinación de enzimas fúngicas, incluyendo celulasas, amilasas, xilanasas, pectinasas, lipasas y enzimas ligninolíticas, para el tratamiento de papel de oficina, periódico y papel escrito con bolígrafo. Los resultados mostraron valores de brillo ISO de 84.91 %, 72.51 % y 76.69 %, respectivamente, mientras que los índices de destintado fueron de 82.89 %, 68.95 % y 76.49 %. Asimismo, se reportaron mejoras en las propiedades mecánicas de las pulpas recuperadas y la posibilidad de aprovechar los efluentes del tratamiento en procesos posteriores para la producción de biobutanol. Estos resultados indicarían que los tratamientos enzimáticos pueden contribuir tanto a la recuperación de fibras como al aprovechamiento de los residuos generados durante su procesamiento.

Por otra parte, el ultrasonido constituye una alternativa de pretratamiento que puede favorecer el desprendimiento de partículas de tinta mediante los fenómenos de cavitación generados en el medio líquido. Autores [4] evaluaron la combinación de ultrasonido y celulasas bacterianas para el destintado de papel residual, reportando la remoción de 2310 ppm de tinta mediante un tratamiento ultrasónico de 15 minutos y una concentración de enzima de 2 %. Los investigadores observaron modificaciones en la morfología superficial de las fibras, así como cambios en sus características estructurales. Estos resultados sugieren que la combinación de tratamientos físicos y enzimáticos puede favorecer la separación de contaminantes; sin embargo, su efectividad depende de las condiciones de aplicación y de la respuesta del material tratado.

En cuanto a los tratamientos químicos, se han desarrollado procedimientos para eliminar los componentes que persisten en las fibras después de la aplicación de los métodos convencionales de separación. En este sentido, investigadores [2] evaluaron la extracción de cargas minerales presentes en residuos de papel mediante una solución de ácido acético a 0.2 M, obteniendo una eficiencia de extracción del carbonato de calcio precipitado del 86 %. Adicionalmente, reportaron una disminución del 93 % en las concentraciones de disolventes clasificados como peligrosos después del tratamiento. Estos resultados evidenciarían que la remoción de partículas de tinta no implica necesariamente la eliminación de todos los componentes residuales del papel y que pueden requerirse tratamientos complementarios, según las características finales deseadas de las fibras.

De manera complementaria, se ha estudiado la clasificación física de las fibras como etapa previa a los tratamientos químicos de purificación. Autores [1] evaluaron la recuperación de celulosa a partir de residuos de cartón corrugado mediante la separación mecánica, la clasificación de fibras y tratamientos químicos posteriores. Los resultados mostraron que la fracción de finos separada durante la clasificación presentó concentraciones elevadas de componentes no celulósicos, entre ellos 12.4 % de cenizas. La separación de estas fracciones permitió obtener materiales con una composición más homogénea para los tratamientos posteriores. Aunque esta investigación utilizó

CC BY NC ND

cartón corrugado y no papel de impresión, aporta información sobre la importancia de considerar la heterogeneidad de la materia prima en la recuperación de fibras secundarias.

La Tabla 1 presenta una comparación de las principales tecnologías identificadas en las investigaciones seleccionadas, considerando el tipo de materia prima, los tratamientos aplicados y los resultados reportados.

Tabla 1. Análisis comparativo de tecnologías empleadas para la recuperación y purificación de fibras celulósicas procedentes de residuos de papel.

Investigación	Materia prima	Tratamiento	Principales resultados
Reynolds et al. [1]	Cartón corrugado recuperado	Clasificación mecánica, extracción química y blanqueo	Separación de una fracción de finos con 12.4 % de cenizas y obtención de pulpas de mayor pureza
Kucbel et al. [2]	Papel de oficina y otros residuos papeleros	Extracción con ácido acético y lavado	86 % de extracción de carbonato de calcio precipitado y disminución de 93 % de disolventes peligrosos
Mondal et al. [3]	Papel de oficina, periódico y papel escrito	Tratamiento mediante combinación de enzimas fúngicas	Mejora de las propiedades ópticas y mecánicas y aprovechamiento de efluentes
Gea et al. [4]	Papel residual	Ultrasonido y celulasas bacterianas	Remoción de 2310 ppm de tinta con 15 min de ultrasonido y 2 % de enzima
Goto et al. [5]	Pulpas celulósicas	Quelación y blanqueo con peróxido	Evaluación de la remoción de metales y del daño oxidativo de la celulosa

***Nota.** La información se basa en estudios experimentales realizados con distintas materias primas y bajo diferentes condiciones de procesamiento. El estudio de Goto et al. [5] se centra en el blanqueo y la protección de la celulosa, no en un ensayo de destintado.

La comparación presentada permite observar que no existe un procedimiento único adecuado para todas las fuentes de fibras secundarias, y que esto dependería de la aplicación a la que estén destinadas. Los tratamientos enzimáticos y ultrasónicos se orientan principalmente a favorecer la separación de la tinta, mientras que los procedimientos de extracción química pueden contribuir a la remoción de cargas minerales y otros componentes residuales. Por otra parte, la clasificación mecánica permite separar fracciones con características distintas antes de aplicar tratamientos posteriores. De esta manera, la elección de la tecnología debe considerar las características de la materia prima y los parámetros de calidad necesarios para aprovecharla.

Influencia de los tratamientos sobre la composición de las fibras recuperadas

La composición química de las fibras secundarias es uno de los principales parámetros para evaluar los cambios producidos durante los procesos de destintado y purificación. Las fibras provenientes de papel reciclado pueden contener diferentes proporciones de celulosa, hemicelulosa, lignina residual y componentes inorgánicos, cuya presencia depende tanto del origen de la materia prima como de los tratamientos aplicados durante su fabricación y recuperación. En este sentido, la evaluación de la composición permite determinar las modificaciones producidas por los procedimientos de separación y establecer relaciones entre las características de los materiales recuperados y sus posibilidades de aprovechamiento.

CC BY NC ND

En otra investigación [1], se evaluó la clasificación de fibras procedentes de cartón corrugado recuperado y su posterior purificación mediante tratamientos químicos. Los autores reportaron que aproximadamente el 22 % del material separado durante la clasificación correspondió a la fracción de finos, la cual presentó contenidos de lignina, hemicelulosa y cenizas de 22.1 %, 14.5 % y 12.4 %, respectivamente. Por otra parte, el contenido de cenizas de las fracciones fibrosas clasificadas fue inferior al 3.2 %, frente al 6.5 % del material inicial. Estos resultados muestran que la separación de fracciones con mayor contenido de componentes no celulósicos puede modificar la composición del material recuperado antes de aplicar tratamientos químicos posteriores.

De manera similar, se ha reportado que la remoción de cargas minerales constituye una etapa importante en la recuperación de celulosa a partir de residuos de papel. Autores [2] evaluaron el tratamiento con ácido acético para eliminar el carbonato de calcio precipitado y otros componentes presentes en las fibras secundarias. Los investigadores identificaron 138 compuestos químicos en las muestras de residuos de papel, incluidas sustancias relacionadas con las materias primas, los aditivos de fabricación y las tintas de impresión. La disminución de los componentes minerales y de determinados contaminantes orgánicos después del tratamiento evidenció que la purificación de las fibras requiere considerar diferentes grupos de sustancias, y no únicamente las partículas de tinta visibles.

Por otra parte, la evaluación del coeficiente Kappa se ha utilizado como indicador complementario para caracterizar pulpas sometidas a diferentes tratamientos. En el estudio realizado por los autores de [3], las pulpas obtenidas mediante destintado enzimático presentaron valores de número Kappa de 12.9, 13.6 y 13.1 para papel de oficina, periódico y papel escrito con bolígrafo, respectivamente. Estos resultados permiten observar diferencias entre las materias primas tratadas; sin embargo, dado que el número Kappa se relaciona con el consumo de un agente oxidante, su interpretación debe considerar la presencia de otros componentes oxidables, además de la lignina residual. Por ello, su uso como indicador de purificación debe complementarse con otras determinaciones de composición.

La Tabla 2 presenta los principales resultados de composición reportados en las investigaciones seleccionadas y su contribución a la evaluación de los tratamientos de recuperación.

Tabla 2. Parámetros de composición utilizados para caracterizar fibras celulósicas recuperadas de residuos de papel.

Parámetro	Resultados reportados	Interpretación
Lignina y hemicelulosa [1]	22.1 % y 14.5 % en la fracción de finos separada	Identificación de fracciones con mayor proporción de componentes no celulósicos
Cenizas [1]	6.5 % en el material inicial y menos de 3.2 % en las fracciones fibrosas clasificadas	Reducción del contenido inorgánico mediante clasificación
Carbonato de calcio [2]	86 % de eficiencia de extracción mediante ácido acético	Remoción de cargas minerales presentes en el papel
Número Kappa [3]	12.9, 13.6 y 13.1 para tres tipos de papel destintado	Diferencias en la respuesta química de las pulpas recuperadas

***Nota.** Los valores provienen de investigaciones independientes y no de un mismo diseño experimental.

Los resultados muestran que las modificaciones en la composición de las fibras pueden producirse mediante diferentes mecanismos de separación y purificación. La clasificación mecánica permite eliminar fracciones con mayor contenido de impurezas, mientras que los tratamientos químicos pueden reducir la presencia de componentes minerales y orgánicos. No obstante, los estudios

CC BY NC ND

analizados emplearon diferentes procedimientos de caracterización, por lo que no fue posible establecer una comparación directa y homogénea de las fracciones α-, β- y γ-celulosa entre las tecnologías revisadas. Esta limitación evidencia la importancia de utilizar métodos analíticos equivalentes al comparar los grados de purificación de fibras provenientes de diferentes investigaciones.

Caracterización fisicoquímica y térmica mediante FTIR y TGA

La caracterización fisicoquímica y térmica de las fibras celulósicas recuperadas permite complementar la información obtenida mediante los análisis de composición y examinar posibles modificaciones asociadas a los tratamientos de destintado y de purificación. Entre las técnicas utilizadas destacan la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés), que proporciona información sobre los grupos funcionales presentes, y el análisis termogravimétrico (TGA, por sus siglas en inglés), que permite evaluar la pérdida de masa en función de la temperatura. Combinar estas técnicas es especialmente importante para analizar materiales recuperados, que pueden conservar componentes residuales tras el procesamiento.

En una investigación [2], los autores utilizaron la técnica FTIR-ATR para caracterizar fibras celulósicas recuperadas de residuos de papel después de aplicar tratamientos de extracción química. El análisis permitió identificar señales asociadas a los grupos funcionales de la celulosa y evaluar las diferencias en su organización estructural. Los investigadores emplearon las relaciones de absorbancia entre las bandas cercanas a 1429, 896 y 1050 cm-1 como indicadores de la contribución relativa de regiones ordenadas y menos ordenadas. Estos resultados demuestran que la espectroscopía infrarroja puede aportar información sobre las características estructurales de las fibras recuperadas; sin embargo, la interpretación de estos indicadores debe considerar las limitaciones de las relaciones espectrales y la posible superposición de bandas de diferentes componentes.

Asimismo, se ha reportado el uso de FTIR y TGA para caracterizar materiales recuperados a partir de residuos de papel con diferentes proporciones de celulosa. En una investigación [10], los autores compararon diferentes técnicas para determinar el contenido de celulosa en mezclas de fibras y polietileno procedentes de procesos de reciclaje. Los resultados mostraron que la técnica FTIR-ATR permitió identificar bandas características de la celulosa, principalmente en el intervalo de 900 a 1200 cm-1. Sin embargo, su aplicación cuantitativa presentó limitaciones en muestras heterogéneas, especialmente cuando el contenido de celulosa fue inferior a 5 %. Por otra parte, el análisis TGA permitió distinguir etapas de degradación asociadas a los componentes del material y proporcionó resultados comparables a los obtenidos mediante hidrólisis ácida y cromatografía para determinar el contenido de celulosa. Aunque esta investigación utilizó residuos de envases multicapa, sus resultados evidencian la importancia de emplear técnicas complementarias para caracterizar materiales secundarios de composición heterogénea.

En relación con el efecto de los tratamientos de recuperación, autores [4] reportaron modificaciones en las características estructurales de fibras de papel residual después de aplicar ultrasonido y celulasas bacterianas. El análisis de las muestras tratadas permitió identificar diferencias morfológicas y estructurales, alcanzando un índice máximo de cristalinidad de 70.9 % en las condiciones evaluadas. Estos resultados sugieren que la aplicación conjunta de tratamientos físicos y enzimáticos puede modificar la organización de las regiones celulósicas, aunque su comportamiento depende de las condiciones de procesamiento y de las características iniciales del material.

Por otra parte, en otra investigación [11], se evaluó la obtención de nanocelulosa a partir de residuos de papel mediante hidrólisis enzimática, utilizando diferentes concentraciones de celulasa. Los

CC BY NC ND

investigadores obtuvieron materiales con distintas características morfológicas y valores de cristalinidad comprendidos entre 59.3 % y 81.7 % bajo las condiciones destacadas del estudio. Asimismo, el análisis termogravimétrico permitió identificar diferencias en la estabilidad térmica asociadas a la morfología de la nanocelulosa obtenida. Estos resultados indican que los tratamientos posteriores a la recuperación pueden modificar las características estructurales y térmicas de los materiales celulósicos, por lo que su evaluación es importante cuando se pretende destinarlos a aplicaciones que requieren propiedades específicas.

Es importante señalar que los valores de cristalinidad reportados por diferentes autores no deben compararse directamente cuando se emplean métodos de determinación, materias primas o tratamientos distintos. De manera similar, las temperaturas de degradación obtenidas mediante TGA pueden depender de la atmósfera, la velocidad de calentamiento, la composición y la preparación de las muestras. Por ello, la caracterización conjunta mediante FTIR y TGA debe interpretarse teniendo en cuenta las condiciones experimentales específicas de cada investigación, sin atribuir automáticamente las diferencias observadas a un mayor grado de pureza de la celulosa.

Asimismo, los tratamientos de blanqueo pueden provocar modificaciones químicas adicionales que requieren técnicas de caracterización complementarias. Investigadores [5] evaluaron los efectos de tratamientos de quelación y de blanqueamiento con peróxido sobre pulpas celulósicas mediante cromatografía de permeación en gel (GPC, por sus siglas en inglés) y espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES, por sus siglas en inglés). Los autores encontraron que el control de los iones metálicos es importante para reducir las reacciones oxidativas que pueden modificar las cadenas de celulosa durante el blanqueo. Estos resultados permiten establecer que la evaluación de la calidad de las fibras recuperadas no debe limitarse a su composición y comportamiento térmico, especialmente cuando se aplican tratamientos químicos que pueden modificar su integridad molecular.

En conjunto, los estudios analizados muestran que FTIR y TGA constituyen herramientas complementarias para examinar las características fisicoquímicas y térmicas de las fibras celulósicas recuperadas. Sin embargo, conservar las bandas características de la celulosa o identificar una etapa principal de degradación térmica no basta por sí solo para demostrar que se han eliminado por completo las partículas de tinta, los aditivos u otros contaminantes. Por ello, para obtener materiales destinados a aplicaciones más exigentes, es necesario complementar estas técnicas con procedimientos específicos que permitan determinar la pureza y los contaminantes residuales.

Limitaciones de los procesos y perspectivas de aprovechamiento en membranas biomédicas

La recuperación de celulosa a partir de residuos de papel ha abierto nuevas posibilidades de aprovechamiento, como su transformación en películas, membranas y otros materiales poliméricos. Sin embargo, la selección de una tecnología de destintado y purificación debe considerar las características requeridas para la aplicación prevista, ya que un tratamiento capaz de mejorar determinadas propiedades del material no necesariamente genera condiciones adecuadas para todas sus posibles aplicaciones.

En una investigación [6], se obtuvieron membranas de nanocelulosa a partir de diferentes residuos de papel, incluidos papel de oficina, cartón y otros materiales secundarios, mediante procesos de pretratamiento y de autoensamblaje. Los investigadores reportaron que las membranas obtenidas a partir de papel de oficina alcanzaron una transmitancia de 50.8 %, mientras que aquellas elaboradas a partir de cartón corrugado presentaron una transmitancia de 50.63 % y una resistencia al plegado de 81 ciclos. Asimismo, encontraron que determinadas membranas preparadas sin tratamiento previo de destintado presentaron un comportamiento favorable en cuanto a las propiedades de barrera al vapor de agua y la resistencia al plegado. Estos resultados muestran que la influencia del

CC BY NC ND

destintado depende de las propiedades que se deseen obtener y que la selección de tratamientos adicionales debe justificarse en función de la aplicación final del material.

Por otra parte, investigadores [7] analizaron diferentes procedimientos para la fabricación de películas y membranas celulósicas, destacando que sus propiedades dependen de factores como la organización de las fibras, la estructura de la membrana y las condiciones de procesamiento. Los autores señalaron que las propiedades de transporte y de separación son aspectos importantes para evaluar el desempeño de estos materiales. En este sentido, las características fisicoquímicas de la celulosa constituyen un punto de partida para su transformación en membranas funcionales, aunque su comportamiento posterior también depende de la formulación y del procedimiento de fabricación empleado.

En el área biomédica, los materiales celulósicos han despertado interés por su capacidad de modificación química y por la posibilidad de obtener estructuras con propiedades ajustables. Autores [8] analizaron diversas aplicaciones biomédicas de la celulosa y sus derivados, identificando oportunidades relacionadas con el desarrollo de materiales funcionales y estructuras poliméricas destinadas al contacto con sistemas biológicos. Sin embargo, estas posibilidades no pueden extrapolarse directamente a fibras recuperadas de papel impreso, ya que la composición de las materias primas y la presencia de componentes residuales pueden modificar su comportamiento y conllevar riesgos asociados a su uso.

En este sentido, investigadores [9] destacaron la importancia de considerar la bioseguridad de los materiales celulósicos destinados a aplicaciones biomédicas, en particular en relación con las características de las partículas, sus propiedades superficiales y sus posibles interacciones con sistemas biológicos. Por otra parte, la identificación de sustancias químicas residuales en fibras provenientes de papel reciclado [2] evidencia que la recuperación de celulosa mediante procesos de destintado y purificación debe ir acompañada de evaluaciones complementarias cuando se pretende utilizar estos materiales en aplicaciones que requieren condiciones de seguridad especiales.

La Tabla 3 muestra los principales aspectos a considerar para orientar el aprovechamiento de fibras celulósicas recuperadas en el desarrollo de membranas biomédicas, diferenciando entre la información que puede obtenerse mediante su caracterización fisicoquímica y las evaluaciones adicionales requeridas

Tabla 3. Criterios de evaluación para el aprovechamiento potencial de fibras celulósicas recuperadas en membranas biomédicas.

Característica	Evaluación	Importancia
Composición celulósica	Determinación de fracciones celulósicas y componentes no celulósicos	Identificar las características químicas de las fibras recuperadas
Pureza del material	Cenizas, componentes residuales y análisis de contaminantes	Evaluar la presencia de sustancias provenientes del papel y sus tratamientos
Estructura química	FTIR y técnicas complementarias	Identificar grupos funcionales y posibles modificaciones químicas
Comportamiento térmico	TGA	Evaluar las etapas de pérdida de masa y la respuesta térmica del material
Propiedades de membrana	Ensayos mecánicos, de absorción y transporte	Determinar el comportamiento funcional según la aplicación prevista

CC BY NC ND

Seguridad biológica	Pruebas de citotoxicidad, biocompatibilidad y otras específicas de la aplicación	Establecer la aptitud del material para contacto con sistemas biológicos

***Nota.** Los criterios constituyen una síntesis técnica elaborada a partir de las investigaciones revisadas [2, 7-9]. No representan resultados experimentales obtenidos en el presente trabajo.

La revisión de la literatura permite identificar que las tecnologías de destintado y purificación pueden contribuir a la recuperación de fibras celulósicas con características adecuadas para su posterior transformación en materiales poliméricos. Sin embargo, las diferencias en los procedimientos experimentales, la composición de las materias primas y las técnicas de caracterización limitan la comparación directa de los resultados disponibles. Asimismo, la información revisada indica que la obtención de celulosa con determinadas características fisicoquímicas no constituye evidencia suficiente para demostrar su idoneidad para aplicaciones biomédicas.

Por lo tanto, el aprovechamiento de fibras provenientes de papel impreso debe contemplar una secuencia de evaluación que incluya la recuperación y purificación del material, la caracterización fisicoquímica, la fabricación de las membranas y la determinación de sus propiedades funcionales y de seguridad. En este sentido, los resultados analizados destacan el destintado y la purificación como etapas clave en la valorización de las fibras secundarias. Asimismo, establecen criterios que pueden orientar futuras investigaciones sobre el desarrollo de membranas con potencial de aplicación biomédica.

CONCLUSIONES

El análisis de las investigaciones seleccionadas permitió identificar diversas estrategias para la recuperación y purificación de fibras celulósicas procedentes de residuos de papel. Los tratamientos enzimáticos y asistidos por ultrasonido pueden favorecer el desprendimiento y la separación de las partículas de tinta, mientras que los procedimientos químicos y de clasificación permiten reducir las cargas minerales y otros componentes residuales. Sin embargo, la efectividad de cada tecnología depende de las características de la materia prima, de las condiciones de procesamiento y de las propiedades requeridas para la aplicación final.

La composición de las fibras, junto con su caracterización mediante FTIR y TGA, constituye una herramienta para evaluar las modificaciones asociadas a los tratamientos y para valorar las características de la celulosa recuperada. No obstante, las diferencias entre los métodos experimentales empleados en las investigaciones revisadas limitan la comparación directa de ciertos parámetros y evidencian la necesidad de establecer criterios de caracterización equivalentes.

La celulosa recuperada del papel residual tiene potencial para su transformación en películas y membranas de mayor valor agregado. Sin embargo, cuando se considera una posible aplicación biomédica, la caracterización fisicoquímica no resulta suficiente para demostrar la idoneidad del material. Es necesario complementar la recuperación y purificación de las fibras con evaluaciones de contaminantes residuales, de propiedades funcionales, de citotoxicidad y de biocompatibilidad. Por lo tanto, el destintado y la purificación constituyen etapas iniciales para la valorización de fibras secundarias y sientan las bases para investigaciones posteriores orientadas al desarrollo de membranas con potencial de aplicación biomédica.

CC BY NC ND

REFERENCIAS

1. Reynolds, A.M., et al., Fractionation by classification as a prerequisite to the purification of old corrugated container material for preparing dissolving grade pulp: AM Reynolds et al. Cellulose, 2025. 32(10): p. 6209-6228.

2. Kucbel, M., et al., Removal of fillers and chemical reagents from waste paper for its sustainable use. Environmental Science and Pollution Research, 2025. 32(45): p. 25730-25753.

3. Mondal, S., et al., Biodeinking of waste papers using combinatorial fungal enzymes and subsequent production of butanol from effluent. Bioresource technology, 2022. 353: p. 127078.

4. Gea, S., et al., Ultrasound pretreatment and enzymatic deinking by using bacterial cellulases from rice husk. Journal of Wood Chemistry and Technology, 2023. 43(3): p. 117-128.

5. Goto, T., et al., Evaluating chelating agents and their effects on cellulosic pulps during P-stage bleaching. Part 1: analytical method development. Cellulose, 2023. 30(6): p. 3887-3900.

6. Lei, W., et al., A study on preparation of low-cost environment-friendly self-assembled nanocellulose membrane from waste paper. Industrial Crops and Products, 2024. 221: p. 119453.

7. Grzybek, P., G. Dudek, and B. van der Bruggen, Cellulose-based films and membranes: A comprehensive review on preparation and applications. Chemical Engineering Journal, 2024. 495: p. 153500.

8. Cheng, W., et al., Sustainable cellulose and its derivatives for promising biomedical applications. Progress in Materials Science, 2023. 138: p. 101152.

9. Li, Y., et al., Biosafety consideration of nanocellulose in biomedical applications: A review. International journal of biological macromolecules, 2024. 265: p. 130900.

10. Kauppi, E., et al., Quantifying cellulose content in plastic-cellulose material mixtures. Cellulose, 2024. 31(16): p. 9613-9621.

11. Lei, W., et al., Controllable preparation and morphology regulation of nanocelluloses from waste paper by a green hydrolysis method. International Journal of Biological Macromolecules, 2024. 280: p. 135658.

CC BY NC ND