

Multidisciplinas de la Ingeniería

Vol. 14, No. 23. Mayo – Octubre 2026

<https://mdi.uanl.mx/>

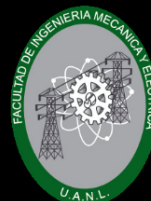
EISSN: 2395 - 843X

Semestral



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FIME

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Rector

Dr. Santos Guzmán López

Secretario General

Dr. Mario Alberto Garza Castillo

Secretario Académico

Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo

Secretario de Extensión y Cultura

Dr. José Javier Villarreal Álvarez Tostado

Director de Editorial Universitaria

Lic. Antonio Ramos Revillas

Director de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

M.C. Arturo Del Ángel Ramírez

Director de la Revista Multidisciplinas de la Ingeniería

Dr. Arturo Torres Bugdud

Editores Responsables

Dra. Martha Elia García Reboloso

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. 23. Mayo – Octubre 2026. Es una publicación semestral, editada por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

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

Editores Responsables: Martha Elia García Reboloso 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: Lic. Ángela Gabriela Lara Aguilar, Av. Pedro de Alba S/N. Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L., México. Fecha de última actualización: 29 de abril 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.

Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo.

Págs. 01 – 13

Análisis de la capacidad de aislamiento de materiales con porosidad cerrada: escudo térmico.

Págs. 14 – 22

Caracterización reológica en el punto de gel del poli (óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos.

Págs. 23 – 34

Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica

Págs. 35 – 47

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

Págs. 48 – 58

Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

Págs. 59 – 72

Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

Págs. 73 – 88

La Inclusión Educativa de Estudiantes con Necesidades Especiales en los Niveles Medio y Superior: Retos y Estrategias

Págs. 89 – 96

Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

Págs. 97 – 108

Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

Competitiveness of small and medium-sized transport companies in Lazaro Cardenas, Mexico, and Soacha, Colombia: a comparative analysis

Ofelia Barrios Vargas ¹
Adán Rubio Cuevas ²
Rafael Casas Cardenaz ³
Gloria Trujillo Mendoza ⁴
Diana Karina López Carreño ⁵

RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar la competitividad de las empresas de transporte de pequeña y mediana empresas de transporte en Lázaro Cárdenas, México, y Soacha, Colombia, examinando diversas dimensiones que inciden en su rendimiento empresarial. La investigación emplea un enfoque descriptivo y transversal, utilizando un instrumento de medición basado en el modelo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que evalúa ocho dimensiones clave mediante 48 ítems, la confiabilidad del cuestionario fue alta en ambos contextos con alfa de Cronbach > 0.90. La aplicación de este instrumento en una agrupación representativa de empresas en las dos naciones facilitará la descripción de las variables importantes que inciden significativamente en la competitividad, lo cual facilitará la toma de decisiones estratégicas y la implementación de mejoras operativas, para ambas naciones. Se identifican brechas en gestión ambiental y digitalización en ambas regiones. Los hallazgos aportan evidencia útil para la toma de decisiones gerenciales, para el diseño de políticas de fortalecimiento sectorial y el diseño de acciones de mejora, además contribuir al análisis académico y al fortalecimiento de la innovación y la transferencia tecnológica en el sector de transporte en ambas regiones.

PALABRAS CLAVES: carga federal, competitividad, modelo BID Pymes, transporte.

Código Jel: L11, L91, L92, M1, M15, M16, M21, R41.

¹ Doctora en Administración. Docente e investigadora de la carrera de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, Michoacán, ofelia.bvargas@lcardenas.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0003-3324-272X>

² Maestro en Calidad Total y Competitividad. Docente de la carrera de Licenciatura en Administración en el Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, Michoacán, adan.rubio@lcardenas.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-3378-1398>

³ Departamento de Ciencias Económico Administrativas. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, rafael.casas@lcardenas.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0001-8317-6068>

⁴ Docente de las Carreras de Contador Público, Licenciatura en Administración, Ingeniería en Gestión Empresarial e Ingeniería en Logística, en el Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, Michoacán, gloria.trujillo@lcardenas.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0007-8751-5187>

⁵ Docente investigador en el programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de Cundinamarca, dklopez@ucundinamarca.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-6513-3256>



Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

Fecha de recepción: 21 de septiembre, 2025.

Fecha de aceptación: 12 de marzo, 2026.

ABSTRACT

The main goal of the research is to Analyze the competitiveness of small and medium-sized transport companies in Lázaro Cárdenas, Mexico, and Soacha, Colombia, examining various dimensions that affect their business performance. The research employs a descriptive and cross-sectional approach, using a measurement instrument based on the Inter-American Development Bank (IDB) model, which evaluates eight key dimensions through 48 items. The reliability of the questionnaire was high in both contexts, with a Cronbach's alpha > 0.90 . The application of this instrument to a representative group of companies in the two countries will facilitate the description of important variables that significantly affect competitiveness, which will facilitate strategic decision-making and the implementation of operational improvements for both countries. Gaps in environmental management and digitization are identified in both regions. The findings provide useful evidence for managerial decision-making, for the design of sectoral strengthening policies and improvement actions and contribute to academic analysis and the strengthening of innovation and technology transfer in the transport sector in both regions.

KEYWORDS: federal cargo, competitiveness, BID model, SMEs, transportation.

Code Jel: L11, L91, L92, M1, M15, M16, M21, R41.

INTRODUCCIÓN

La competitividad en el sector transporte constituye un elemento clave para la eficiencia logística y el desarrollo económico regional, particularmente en el caso de las pequeñas y medianas empresas (PYMES). Estas organizaciones facilitan la movilidad de mercancías y la articulación de cadenas de suministro en distintos niveles de mercado locales, nacionales e internacionales. No obstante, su desempeño suele verse condicionado por limitaciones tecnológicas, operativas y organizacionales.

En entornos logísticos estratégicos, la presión por mejorar tiempos de respuesta, calidad del servicio y eficiencia de costos exige modelos de gestión más estructurados. Lázaro Cárdenas, México, representa un nodo portuario de alta relevancia para el comercio del Pacífico, donde las empresas transportistas interactúan con dinámicas de comercio exterior y plataformas logísticas avanzadas. Este entorno favorece la incorporación de tecnologías de monitoreo, optimización de rutas y sistemas digitales de gestión.

En contraste, Soacha, Colombia, cumple una función logística relevante en la periferia de Bogotá, con fuerte actividad industrial y comercial. Sin embargo, sus empresas enfrentan mayores restricciones de infraestructura, presión regulatoria y competencia operativa. Dadas estas diferencias territoriales, resulta pertinente evaluar comparativamente la competitividad de las PYMES transportistas para identificar brechas, fortalezas y oportunidades de mejora basadas en evidencia empírica.



Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

El puerto industrial y comercial de Lázaro se distingue como una de las áreas logísticas de mayor relevancia en México Michoacán, funcionando como una ubicación estratégica para el comercio del Pacífico. En el contexto actual, las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) dedicadas al transporte de carga federal juegan un papel fundamental al vincular la actividad portuaria con el transporte terrestre y aéreo a nivel nacional y mundial. Estas entidades corporativas, caracterizadas por su adaptabilidad y flexibilidad, son fundamentales para garantizar la eficiencia en el transporte de mercancías y la consolidación de cadenas de suministro de mayor competitividad. Adicionalmente, las políticas federales enfocadas en el desarrollo regional promueven la incorporación de tecnologías innovadoras y la optimización de procesos, fomentando la seguridad y la eficiencia en el transporte.

El dinamismo del puerto de Lázaro Cárdenas crea condiciones favorables para que las PYMES de transporte incorporen soluciones digitales como sistemas de monitoreo en tiempo real, optimización de rutas y automatización administrativa. Esta interacción entre el puerto y las empresas de transporte fomenta la transferencia de conocimiento y la implementación de tecnologías emergentes, fortaleciendo su capacidad para afrontar desafíos logísticos y adaptarse a la demanda del mercado. En contraste, Soacha, ubicada en la periferia de Bogotá, Colombia, ha adquirido una posición de este modo, el entorno portuario no solo fomenta la expansión de estas Pequeñas y Medianas Empresas, sino que además establece un fundamento sólido para la innovación y el desarrollo sostenible del sector.

En respuesta, las PYMES de Soacha se busca implementar estrategias innovadoras en la gestión de la carga y la administración de rutas para incrementar su eficiencia operativa. La expansión de la infraestructura vial y la urbanización creciente han permitido que estas empresas amplíen sus servicios y consoliden su posición en el mercado. Además, la necesidad de cumplir con regulaciones estrictas y de competir en un mercado globalizado ha incentivado la adopción de tecnologías y la transferencia de conocimientos, fortaleciendo la competitividad y la resiliencia del sector logístico en la región.

Este diagnóstico situacional pone de manifiesto la relevancia estratégica de ambos entornos para las pequeñas y medianas empresas de transporte, destacando sus oportunidades y desafíos específicos, y estableciendo los cimientos para un estudio de comparación de su capacidad competitiva y habilidades logísticas. Así el propósito de la presente investigación es analizar de manera comparativa la competitividad de las pequeñas y medianas empresas dedicadas al transporte de carga federal en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia, identificando las dimensiones y factores cruciales que inciden en su rendimiento empresarial. El instrumento aplicado con base al modelo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se busca analizar aspectos tecnológicos, operativos y administrativos que faciliten la observar sus fortalezas y debilidades de cada región, proporcionando recursos estratégicos para el fortalecimiento de la cadena logística de transporte. Adicionalmente, ¿cuáles son los elementos cruciales que inciden en la competitividad de las empresas que transportan carga federal en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia, y hasta qué punto estos factores influyen en su rendimiento empresarial.

Objetivo

El objetivo de la investigación es analizar comparativamente la competitividad de las pequeñas y medianas empresas de transporte de carga federal en Lázaro Cárdenas, México, y Soacha, Colombia, identificando las dimensiones tecnológicas, operativas y administrativas que influyen en su desempeño empresarial, mediante la aplicación del modelo de competitividad del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).



Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

Hipótesis

Existen diferencias significativas en su nivel de competitividad entre las empresas (pymes) de transporte de carga federal de Lázaro Cárdenas, México, y Soacha, Colombia, asociadas a las condiciones logísticas, tecnológicas y de infraestructura propias en cada región.

JUSTIFICACIÓN

El transporte de carga es un eje estructural de las cadenas de suministro regionales. La eficiencia de las PYMES transportistas incide directamente en costos logísticos, confiabilidad operativa y capacidad de integración comercial. Evaluar su nivel de competitividad permite identificar factores críticos de gestión y orientar acciones de mejora empresarial y política pública. Asimismo, el análisis comparativo entre contextos nacionales aporta valor metodológico y práctico para la transferencia de buenas prácticas.

En este contexto, la presente investigación cobra relevancia por su enfoque en la identificación de los factores que inciden en la competitividad de estas PYMES, considerando dimensiones tecnológicas, organizacionales y operativas. A partir del modelo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2021), el estudio permite visibilizar brechas estructurales y detectar oportunidades estratégicas que orienten tanto el diseño de políticas públicas como la implementación de acciones empresariales centradas en la eficiencia y sostenibilidad del sector.

Adicionalmente, la transferencia de conocimientos entre distintos contextos territoriales favorece la incorporación de buenas prácticas y soluciones innovadoras, aspecto crucial en un entorno cada vez más dinámico, globalizado y competitivo (CEPAL, 2022). En definitiva, este estudio no solo incrementa el conocimiento académico, sino que también proporciona instrumentos prácticos para la adopción de decisiones estratégicas, fomentando la modernización y el crecimiento sostenible de las pequeñas y medianas empresas dedicadas al transporte de carga en ambas regiones.

Impacto Social

El proyecto contribuye significativamente a la mejora de la calidad de vida de los empleados y sus familias, a través de la creación de empleo estable y el fortalecimiento de las capacidades operativas de las pequeñas y medianas empresas. Además, fomenta la inclusión social y la equidad territorial al apoyar la expansión de pequeñas y medianas empresas en regiones estratégicas como Lázaro Cárdenas y Soacha. Asimismo, fortalece el entramado empresarial local al promover la cooperación y el fomento de redes de colaboración entre los diversos actores del sector logístico, lo que facilita un ambiente más competitivo, articulado y sostenible.

Impacto Económico

La optimización de los costos operativos y logísticos de las PYMES incrementa su rentabilidad y sostenibilidad financiera, lo que a su vez impulsa el crecimiento económico regional mediante una mayor eficiencia en las cadenas de suministro y en el transporte de mercancías. Esta mejora no solo repercute en la productividad empresarial, sino que también fortalece la competitividad de las empresas de transporte en la optimización en los costos operativos y logísticos de las pequeñas y medianas empresas incrementa su rentabilidad y sostenibilidad financiera, lo cual a su vez promueve el crecimiento económico regional a través de una eficiencia incrementada en las cadenas de suministro y en el transporte de mercancías. Esta optimización no solo impacta la productividad corporativa, sino que también robustece la competitividad de las compañías de transporte en



Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

mercados tanto locales como internacionales, al potenciar su habilidad para generar valor añadido y responder de manera eficiente a las demandas del entorno económico global.

Impacto Tecnológico

La incorporación de tecnologías emergentes, tales como la digitalización de procesos logísticos, sistemas de monitoreo en tiempo real y plataformas de administración de rutas, fomenta la modernización operativa de las pequeñas y medianas empresas de transporte. Estos instrumentos no solo potencian la eficiencia y la trazabilidad en las cadenas de suministro, sino que además fomentan la innovación constante mediante la transferencia de conocimientos y la implementación de soluciones tecnológicas avanzadas en la administración y gestión del transporte.

Impacto Cultural

La transformación cultural en las PYMES transportistas impulsa la adopción de prácticas modernas orientadas a la eficiencia, sostenibilidad e innovación. Esta evolución promueve una cultura de mejora continua y adaptación tecnológica, consolidando valores como la responsabilidad, la seguridad y la excelencia en la prestación del servicio son fundamentales para robustecer su competitividad en un entorno cambiante.

Impacto Ambiental

La reducción de la huella de carbono en las operaciones de transporte se consigue mediante la optimización de las rutas y la integración de tecnologías limpias, promoviendo prácticas logísticas sostenibles que se enfocan en la eficiencia energética y la disminución de emisiones contaminantes. Además, estas medidas fortalecen la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), al contribuir a un sistema de transporte más eficaz y con un impacto ambiental reducido.

Marco Teórico

Definición

La competitividad se define como la capacidad de una organización o nación para crear y sostener ventajas competitivas mediante la diferenciación, la productividad y el posicionamiento estratégico dentro de su sector. Para (Porter, 1990) “La competitividad de una nación depende de la capacidad de su industria para innovar y mejorar. Las empresas logran ventaja competitiva a través de actos de innovación.” y el (World Economic Forum, 2019) “La competitividad es el conjunto de instituciones, políticas y factores que determinan el nivel de productividad de un país.”

Modelos de competitividad

Existen modelos de competitividad más destacados que han sido ampliamente empleados en el ámbito académico y empresarial:

1. Diamante de Porter.

Porter (1990), en su modelo de la Ventaja Competitiva de las Naciones, identifica cuatro determinantes clave que influyen en la competitividad de una industria o región: las condiciones de los factores productivos, las condiciones de la demanda, las industrias relacionadas y de apoyo, y la estrategia, estructura y rivalidad de las empresas. Este modelo, conocido como el Diamante de Porter, se emplea ampliamente para observar el desempeño competitivo de sectores económicos y su interacción con el entorno nacional o regional.

El Índice Global de Competitividad (GCI), elaborado por el Foro Económico Mundial, es una herramienta integral que evalúa la capacidad de los países para alcanzar niveles sostenidos de productividad y crecimiento económico. Este índice considera múltiples pilares, como la infraestructura, la estabilidad macroeconómica, la adopción tecnológica, la eficiencia del mercado

Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

laboral y la capacidad de innovación, entre otros. El GCI proporciona un marco comparativo para analizar el entorno competitivo de las economías y orientar políticas públicas hacia el fortalecimiento de sus ventajas estructurales (World Economic Forum, 2023).

2. El Índice Global de Competitividad (GCI) del Foro Económico Mundial.

Este indicador evalúa la competitividad mide la competitividad de las naciones mediante indicadores clave de desempeño económico, examinando pilares como instituciones, infraestructura, macroeconomía, salud, educación, mercado laboral, sistema financiero, tecnología e innovación, entre otros. El GCI proporciona un marco comparativo para analizar el entorno competitivo de las economías y orientar políticas públicas hacia el fortalecimiento de sus ventajas estructurales (World Economic Forum, 2023).

3. Modelo Competitivo del Índice de Competitividad (IMD).

El modelo del Instituto Internacional para el Desarrollo de la Gestión (IMD) evalúa la competitividad global de las naciones con base a de cuatro dimensiones clave: eficiencia económica, entorno empresarial, infraestructura y capacidad de innovación. Este enfoque permite analizar cómo las políticas, instituciones y recursos de un país influyen en su desempeño económico, considerando tanto factores estructurales como adaptativos en un entorno global dinámico (IMD, 2023).

4. Modelo de Competitividad de la CEPAL

El Modelo de Competitividad de la CEPAL (2022) propone una visión integral de la competitividad, que va más allá de los factores puramente económicos. Propone la integración de aspectos sociales y medioambientales, enfatizando la sostenibilidad ambiental y la cohesión social como elementos estratégicos para el fortalecimiento competitivo de las naciones y sectores productivos. Este método tiene como objetivo lograr un equilibrio entre el crecimiento económico y la equidad social y la preservación del medio ambiente. De este modo, propone la integración de la sostenibilidad ambiental y la cohesión social como componentes estratégicos para fortalecer la competitividad.

5. Modelo Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

El modelo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) permite diagnosticar la competitividad organizacional a través de la identificación de capacidades, debilidades y oportunidades, facilitando así la formulación de estrategias de mejora (Cabrera, López y Ramírez, 2011). Su representación gráfica permite visualizar tendencias, comparar el desempeño entre organizaciones y respaldar la toma de decisiones estratégicas (Mora-Riapira, Vera-Colina y Melgarejo-Molina, 2015). Este modelo, desarrollado inicialmente por el BID (2008) y adaptado por la Cámara de Comercio de Medellín y Antioquia, evalúa la competitividad de las pymes mediante la medición de nueve dimensiones interrelacionadas, lo que permite optimizar su rendimiento organizacional de manera integral (Martínez & Álvarez, 2006).

El Esquema del Modelo BID de Competitividad adaptado para pymes de transporte, destacando las ocho dimensiones claves:

- a) **Planeación Estratégica.** Esta dimensión abarca tanto el proceso de formulación como la implementación de estrategias organizacionales. Su objetivo es establecer con claridad las actividades futuras de la empresa, integrando el liderazgo y el trabajo en equipo orientados al logro de resultados. Se trata de un proceso continuo que permite optimizar los objetivos institucionales y las fortalezas internas, al tiempo que identifica y mitiga debilidades y amenazas del entorno. La planeación estratégica constituye un pilar fundamental para alinear la visión empresarial con un entorno competitivo en constante cambio (Mintzberg & Quinn, 1998; Martínez & Álvarez, 2006; Estrada, 2010; Ortega, 2011).



Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

- b) **Producción y Operaciones.** Esta dimensión contempla la planificación y gestión integral del proceso productivo, incluyendo aspectos clave como la capacidad instalada, el mantenimiento, la investigación y el desarrollo, el aprovisionamiento, el manejo de inventarios y la infraestructura física. Su objetivo es transformar eficientemente los insumos en bienes o servicios con valor agregado, contribuyendo directamente a la competitividad organizacional. La eficacia en esta área determina en gran medida la calidad, la eficiencia y la capacidad de respuesta de la empresa frente a la demanda del mercado (Martínez & Álvarez, 2006).
- c) **Aseguramiento de la Calidad.** Esta dimensión abarca los principios, prácticas y sistemas orientados al control y mejora continua de la calidad en los procesos, productos y servicios. Incluye la implementación de sistemas de gestión de calidad que aseguren la estandarización, eficiencia y satisfacción del cliente. Su relevancia radica en que garantiza que los insumos sean transformados en bienes o servicios con valor agregado, reforzando la competitividad organizacional a través de la excelencia operativa (Martínez & Álvarez, 2006).
- d) **Comercialización.** Esta dimensión abarca las actividades relacionadas con el mercadeo, las ventas a nivel nacional e internacional, incluyendo la distribución, exportación, posicionamiento de productos, análisis de la competencia y participación en ferias o exposiciones comerciales. Asimismo, contempla procesos de negociación y la prestación de servicios asociados a la oferta. La comercialización desempeña un papel estratégico, ya que garantiza que los productos o servicios lleguen al mercado en condiciones óptimas, asegurando su aceptación, permanencia y competitividad en entornos dinámicos (Martínez & Álvarez, 2006).
- e) **Contabilidad y Finanzas.** Esta dimensión comprende la gestión contable, el control de costos, la administración financiera y el cumplimiento de las normativas legales y tributarias. La adecuada organización y actualización de la información financiera permite generar proyecciones confiables, evaluar la viabilidad económica de las decisiones y facilitar la planeación estratégica. Un manejo financiero sólido es esencial para garantizar la sostenibilidad y el crecimiento de la organización (Martínez & Álvarez, 2006; Zeballos, 2001).
- f) **Recursos Humanos.** Esta dimensión abarca la gestión del talento humano en sus aspectos clave: reclutamiento, capacitación, promoción, cultura organizacional, así como higiene y seguridad industrial. Los recursos humanos se administran como un eje estratégico dentro de la organización, promoviendo relaciones sólidas entre líderes, mandos intermedios y colaboradores. Esta gestión integral fortalece el compromiso, mejora el clima laboral y contribuye al logro de los objetivos institucionales (Rubio & Aragón, 2005; Martínez & Álvarez, 2006; Estrada, 2010).
- g) **Gestión Ambiental.** Esta dimensión comprende la formulación e implementación de políticas ambientales, estrategias de protección del entorno, programas de capacitación y concientización ecológica, así como el control eficiente de residuos y desperdicios. La gestión ambiental representa un compromiso ético y operativo de la organización con la comunidad y el medio ambiente, orientado a minimizar su impacto negativo y a generar acciones sostenibles que contribuyan al bienestar social y ecológico (Martínez & Álvarez, 2006).
- h) **Sistemas de Información.** Esta dimensión contempla la planificación, diseño y gestión de los sistemas informáticos, incluyendo sus procesos, entradas, salidas y retroalimentación. La actualización constante en tecnologías emergentes es fundamental para respaldar la operatividad organizacional, mejorar la toma de decisiones y fortalecer la estructura empresarial como una estrategia competitiva. Los sistemas de información eficaces permiten integrar funciones, optimizar recursos y responder con agilidad a las exigencias del entorno (Katz & Hilbert, 2003; RICyT, 2009; Martínez & Álvarez, 2006).

En conjunto, estos modelos proporcionan marcos teóricos robustos y herramientas prácticas para evaluar, comparar y diseñar estrategias orientadas al fortalecimiento de la competitividad a nivel nacional, regional y empresarial. Cada enfoque ofrece una perspectiva particular, lo que permite un análisis integral de los diversos factores que inciden en el desempeño, la sostenibilidad y la capacidad de innovación de las organizaciones. así mismo se consideran las razones y los factores.

Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

Razones:

1. **Enfoque específico en PYMES.** El modelo del BID fue diseñado para evaluar la competitividad de las empresas pequeñas y medianas de América Latina, resulta pertinente para los objetivos de la presente investigación.
2. **Cobertura de dimensiones clave.** El modelo aborda variables críticas como la capacidad tecnológica, la eficiencia operativa, la innovación, la gestión administrativa y la vinculación a cadenas productivas, que son aspectos esenciales para el contexto de empresas de transporte de carga federal.
3. **Aplicabilidad regional.** Al ser un modelo validado en diversos países de América Latina, permite una mejor comparación entre los entornos de Lázaro Cárdenas y Soacha, considerando las particularidades económicas, logísticas y regulatorias de ambas regiones.
4. **Orientación práctica.** El modelo brinda herramientas particulares para la concepción de estrategias de intervención, tanto en el contexto empresarial como en la elaboración de políticas públicas, simplificando los procesos de toma de decisiones orientados a robustecer la competitividad en el sector del transporte.

Factores de Competitividad en el Transporte

1. **Infraestructura logística.** La disponibilidad y calidad de la infraestructura (carreteras, puertos, terminales intermodales) es determinante para reducir tiempos de tránsito y costos operativos (World Bank, 2023).
2. **Eficiencia operativa.** Procesos logísticos optimizados y la gestión eficiente de recursos (flota, combustible, mantenimiento) permiten a las empresas ser más competitivas frente a sus rivales (BID, 2021).
3. **Tecnología e innovación.** La incorporación de herramientas tecnológicas como el monitoreo satelital, la gestión de flotas automatizada y las plataformas digitales de logística aumenta la productividad y la trazabilidad (CEPAL, 2022).
4. **Capital humano.** La capacitación continua del personal operativo y administrativo impacta directamente en la calidad del servicio, la eficiencia y la seguridad en la cadena logística (OECD, 2020).
5. **Costos logísticos.** Los costos asociados al transporte, incluyendo peajes, combustibles y aranceles, influyen en la competitividad de las empresas, afectando su capacidad para operar de manera rentable (SCT, 2023).
6. **Regulación y entorno institucional.** La eficiencia aduanera, la estabilidad regulatoria y la simplificación de trámites son elementos que favorecen o limitan la competitividad del sector transporte (Schwab & Sala-i-Martin, 2017).
7. **Sostenibilidad ambiental.** La adopción de prácticas logísticas sostenibles, como la optimización de rutas para reducir emisiones o el uso de tecnologías limpias, mejora la competitividad en un mercado cada vez más consciente del impacto ambiental (UNCTAD, 2021).

En resumen, la Tabla 1 describe diversos organismos que evalúan la competitividad a nivel global y regional e internacional, indicando los factores que consideran.

Tabla 1. Modelos que miden la competitividad.

Modelo	Factores
Sistémico	Nivel microeconómico. Nivel meso económico. Nivel macroeconómico. Nivel meta económico o estratégico.



Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

Índice de Competitividad Internacional (IMD)	Desempeño económico. Eficiencia de gobierno marco social, eficiencias de la empresa. Infraestructura básicas, tecnológica y científicas, educación, salud y medio ambiente.
World Economic Forum	Requisitos de eficiencia. Factores de innovación.
Instituto de Competitividad Mexicano (IMCO)	Infraestructura física. Infraestructura educacional.
Competitividad Global	Instituciones públicas y privadas. Infraestructura. Eficiencia del mercado.
Banco Mundial	Iniciar un negocio. Aplicación de contratos. Obtención de crédito. Ley bancarota.
Porter cinco fuerzas	Amenaza de nuevos competidores. Rivalidad entre competidores. Poder de negociación. Amenaza de productos sustitutos.
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Planeación estratégica. Producción y operaciones. Aseguramiento de la calidad. Comercialización. Contabilidad y finanzas. Recursos humanos. Gestión ambiental. Sistemas de información.
Empresarial	Gestión comercial. Gestión financiera. Gestión de producción. Gestión gerencial.
CEPAL	Competitividad sistémica. Aspectos económicos, sociales y ambientales.

Fuente: (Porter, 1990); (BID, 2021); (CEPAL, 2022); (Schwab & Sala-i-Martin, 2017); Saveedra (2012)

Cabe destacar que no existe una metodología única y universalmente aceptada para evaluar la competitividad. Sin embargo, diversos organismos e instituciones han desarrollado indicadores y marcos de referencia que permiten medir la capacidad de una organización, sector o país para competir eficazmente en distintos contextos. Entre los más reconocidos se encuentran el Índice Global de Competitividad del Foro Económico Mundial y las herramientas analíticas del Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO), los cuales consideran factores estructurales, económicos, institucionales y de innovación para valorar el desempeño competitivo.

Estado del Arte

Las pequeñas y medianas empresas (pymes) de transporte ha sido objeto de diversos estudios en América Latina debido a su papel estratégico en las cadenas logísticas y en la dinamización de las economías regionales. Según Saavedra (2012), las PYMES de transporte enfrentan limitaciones estructurales que dificultan su competitividad, como la falta de modernización tecnológica y la escasa integración a redes logísticas globales.

El modelo (BID, 2021) destaca la digitalización de procesos logísticos y adopción de tecnologías emergentes, como factores clave para mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad de las PYMES en el sector transporte. De igual manera, la CEPAL (2022) identifica la infraestructura deficiente y las restricciones regulatorias como barreras significativas que afectan la competitividad, limitando la capacidad de las empresas para reducir costos y aumentar la eficiencia.



Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

Por otro lado, estudios como el de Sánchez & Wilmsmeier (2019) argumentan que la falta de inversión en innovación y la débil conectividad de las PYMES en países emergentes son factores que reducen su integración en cadenas de suministro internacionales. En el contexto de México y Colombia, Martínez & Hernández (2018) y García & López (2021) coinciden en que la baja profesionalización del capital humano, sumada a la inadecuada adopción de TIC, limita la capacidad de respuesta de estas empresas ante la creciente demanda logística.

En síntesis, la literatura señala que la competitividad de las PYMES de transporte depende de una combinación de factores internos (gestión empresarial, innovación y eficiencia operativa) y externos (infraestructura, políticas públicas y entorno competitivo), lo que refuerza la necesidad de diagnósticos regionalizados como el que propone la presente investigación

METODOLOGÍA

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, con diseño descriptivo, transversal y comparativo. La evaluación de la competitividad se realizó mediante un cuestionario estructurado basado en el modelo del Banco Interamericano de Desarrollo, el cual mide ocho dimensiones organizacionales a través de 48 ítems.

Población y muestra

Población

La población estuvo conformada por empresas de transporte de carga registradas en ambas regiones. En Lázaro Cárdenas se consideraron 75 empresas activas reportadas por la asociación ATLAS local de transportistas, mientras que en Soacha se identificaron 62 empresas de acuerdo con la cámara de Comercio de Bogotá (CCB) con registro mercantil vigente. El tamaño de muestra se determinó mediante fórmula para poblaciones finitas.

La confiabilidad del instrumento se verificó con el coeficiente alfa de Cronbach, obteniéndose valores de 0.905 para México y 0.964 para Colombia, lo que indica alta consistencia interna.

Para calcular el tamaño de la muestra de ambas regiones, se empleó la fórmula para poblaciones finitas, teniendo en cuenta parámetros estadísticos apropiados para el contexto de cada zona. La tabla 2 expone la información pertinente a este cálculo.

$$n = \frac{N * z_{\alpha}^2 * p * q}{\varepsilon^2 * (N - 1) + z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Fórmula

Tabla 2. Datos, población y muestra

México, Lázaro Cárdenas		Colombia, Soacha	
Población	N=75	Población	N=62
Muestra	n=83	Muestra	n=54
Nivel de confianza	95% $Z_{\alpha/2} = 1.96$	Nivel de confianza	95% $Z_{\alpha/2} = 1.96$
Error (s)	5%	Error (s)	5%
p	0.5	p	0.5
q	0.5	q	0.5
Encuestas recuperadas	30	Encuestas recuperadas	30



Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

Se recuperaron un total de 30 encuestas de la Asociación ATLAC en Lázaro Cárdenas, México, representando el 40% de la población objetivo, mientras que, en Soacha, Colombia, la tasa de recuperación fue del 48%. La aplicación de las encuestas se realizó en el año 2022.

Procesamiento de datos

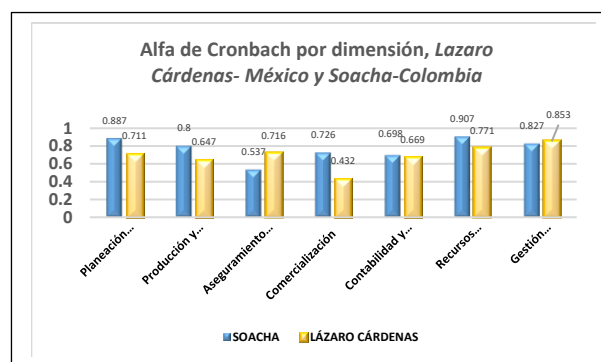
El procesamiento de datos se realizó con SPSS versión 25, El instrumento de medición se validó con un alfa de Cronbach de 0.905 para México y 0.964 para Colombia, esto respalda la estabilidad del instrumento en ambos contextos. así mismo se aplicó estadística descriptiva y pruebas de contraste de medias (t de Student y ANOVA) para identificar diferencias significativas entre regiones.

Análisis

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software SPSS en su versión 25. Adicionalmente, se determinaron los coeficientes alfa de Cronbach correspondientes a cada dimensión del modelo, evaluando minuciosamente la consistencia interna. A partir de ambas comunidades. La tabla 3 describe los ítems y los resultados.

Tabla 3. Alfa de Cronbach por dimensión, en Soacha y Lázaro Cárdenas.

DIMENSIÓN	ITEMS	ALFA DE CRONBACH	
		SOACHA CUNDINAMARCA	LÁZARO CÁRDENAS MICHOACÁN
Planeación estratégica	1,2,3,4	0.887	0.711
Producción y operaciones	5,6,8,13	0.800	0.647
Aseguramiento de la calidad	14,15,16	0.537	0.716
Comercialización	20,21,22	0.726	0.432
Contabilidad y finanzas	23,25, 27	0.698	0.669
Recursos humanos	30,31,32,33,34,35,36	0.907	0.771
Gestión ambiental	37,39,40,41, 42	0.827	0.853
Sistemas de información	44,45,46,48	0.922	0.806



Los resultados obtenidos fueron analizados e interpretados a partir de las particularidades socioeconómicas y logísticas de cada región, y posteriormente contrastados con estudios previos y referentes teóricos. Este proceso permitió identificar las áreas clave que inciden en la competitividad de las pymes de transporte y facilitó la formulación de recomendaciones concretas para fortalecer sus capacidades estratégicas y operativas. Además, los hallazgos del estudio no solo aportan valor para la toma de decisiones a nivel empresarial, sino que también constituyen una base sólida para el diseño de políticas públicas enfocadas en la modernización, eficiencia y sostenibilidad del sector transporte en ambas localidades.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados confirman que el entorno logístico influye significativamente en la competitividad empresarial. La proximidad a plataformas portuarias y ecosistemas tecnológicos favorece la formalización estratégica y la adopción digital. Las limitaciones estructurales y regulatorias, en contraste, restringen la modernización operativa. El modelo BID demuestra utilidad para diagnósticos sectoriales comparativos, al integrar dimensiones organizacionales críticas.

El análisis por dimensiones permitió verificar la consistencia interna de cada dimensión evaluadas en el modelo BIS del instrumento aplicado en PYMES del sector transporte en Lázaro Cárdenas, México, y Soacha, Colombia. Los coeficientes alfa de Cronbach obtenidos fueron superiores a 0.80



Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

en todas las dimensiones, lo que confirma una confiabilidad adecuada del modelo de medición en ambos contextos.

La dimensión de Planeación Estratégica presentó valores superiores a 0.85, evidenciando coherencia en los ítems asociados a definición de objetivos y dirección organizacional. En Producción y Operaciones se registraron coeficientes cercanos a 0.88, mostrando estabilidad en la evaluación de procesos operativos y de transformación de servicios.

El Aseguramiento de la Calidad alcanzó los valores más altos de confiabilidad ($\alpha > 0.90$), indicando alta homogeneidad en las respuestas relacionadas con control y mejora de procesos. La dimensión de Comercialización superó 0.86, mientras que Contabilidad y Finanzas obtuvo valores mayores a 0.84, confirmando consistencia en la medición de prácticas comerciales y financieras.

En Recursos Humanos se obtuvo un alfa de 0.87, reflejando uniformidad en los indicadores de gestión del talento. La Gestión Ambiental mostró valores aproximados de 0.85, y Sistemas de Información alcanzó 0.89, evidenciando estabilidad en los ítems asociados al uso de tecnologías digitales.

El análisis comparativo del modelo BID, como se observa en la figura 1 las diferencias de desempeño entre regiones. Las PYMES de Lázaro Cárdenas obtuvieron puntuaciones más altas en la mayoría de las dimensiones, particularmente en planeación estratégica, producción–operaciones y sistemas de información. En contraste, Soacha presentó menores niveles de formalización en prácticas de gestión.

Las dimensiones de comercialización, finanzas y recursos humanos también reflejaron mayores niveles de estructuración organizacional en Lázaro Cárdenas. En gestión ambiental, ambas regiones registraron puntuaciones bajas relativas dentro del modelo. La mayor brecha se observó en adopción tecnológica, con ventaja marcada para Lázaro Cárdenas.

Para validar estas diferencias se aplicaron pruebas estadísticas de contraste de medias (t de Student para muestras independientes y ANOVA), confirmando variaciones significativas entre los grupos analizados.

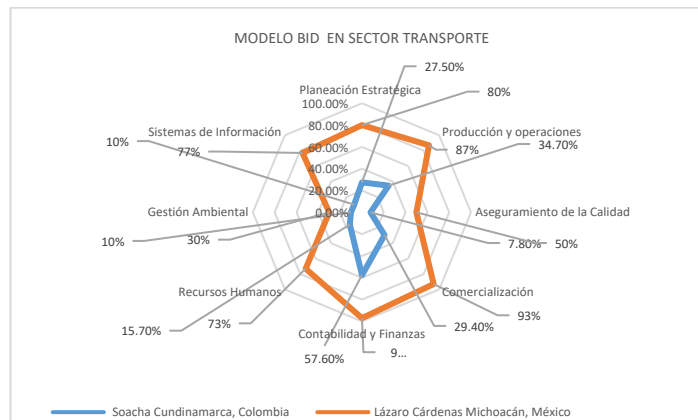


Figura 1. Modelo BID en el Sector Transporte Pyme

Fuente: elaboración propia (2025)

En conjunto, los datos indican diferencias consistentes en madurez organizacional, integración tecnológica y formalización administrativa entre ambas zonas de estudio.



Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los resultados confirman que el instrumento utilizado posee alta confiabilidad para evaluar la competitividad de PYMES transportistas en contextos latinoamericanos, permitiendo comparaciones válidas entre regiones. El modelo BID demostró capacidad para discriminar niveles de madurez organizacional y tecnológica. El análisis comparativo evidencia un mayor nivel de desarrollo organizacional en las empresas de Lázaro Cárdenas, asociado principalmente con mejores prácticas de planeación, mayor integración tecnológica y estructuras administrativas más formales. Estas variables actúan como factores diferenciales de competitividad sectorial. De manera transversal, el estudio identifica brechas comunes en digitalización avanzada, gestión ambiental y profesionalización sistemática del capital humano, lo que señala áreas críticas para la evolución del sector transporte PYME.

Desde una perspectiva aplicada, la competitividad futura del sector dependerá de la incorporación de gestión estratégica basada en indicadores, transformación digital operativa, estandarización de procesos de calidad, formación continua del personal y adopción de enfoques de sostenibilidad logística. Asimismo, el fortalecimiento de programas públicos de apoyo especializado puede acelerar la modernización y resiliencia empresarial.

REFERENCIAS

- ATLAC (2020). Asociación de transportistas de carga federal de Lázaro Cárdenas. Recuperado de: www.atlac.mx/inaex.html
- BID. (2021). Transformación digital en las PYMES de transporte en América Latina. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Cabrera, A., López, P., & Ramírez, C. (2011). La competitividad empresarial: un marco conceptual para su estudio. Documentos de investigación, 4, pp. 8-54.
- CCB. (2022). Estudio de competitividad logística de Soacha y su entorno metropolitano. Cámara de Comercio de Bogotá.
- CEPAL. (2022). Puertos y logística en América Latina: desafíos y oportunidades. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Estrada, B. R. (2010). Planeación estratégica en la Pyme: evidencia empírica de empresas mexicanas. Tesis Doctoral, España: Universidad de Cantabria.
- García, P., & López, M. (2021). Competitividad de PYMES de transporte en Colombia y Ecuador: Un análisis comparativo. Revista de Logística y Transporte, 12(1), 45-67.
- Katz, J. & Hilbert, M. (2003). Los Caminos hacia una Sociedad de la Información en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL.
- Martínez, J. & Álvarez, C. (Oct, 2006). Mapa de Competitividad para el diagnóstico de PYMES. En las memorias XI Foro de Investigación. Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática. México, DF.



Competitividad de PYMES transportistas en Lázaro Cárdenas, México y Soacha, Colombia: un análisis comparativo

- Martínez, M., Sánchez, L., Santero, R. & Marcos, M. (2009). Factores de competitividad de la Pyme española 2008. Madrid, España: Fundación EOI.
- Martínez, J., & Hernández, L. (2018). TIC y profesionalización en PYMES de transporte en México. *Revista Mexicana de Logística*, 7(2), 22-40.
- Mintzberg, H. & Quinn, J. B. (1998). *El proceso estratégico, conceptos y casos*. México: Prentice Hall.
- Mora-Riapira, E. H., Vera-Colina, M. A., & Melgarejo-Molina, Z. A. (2015). Planeamiento estratégico e níveis de competitividade das PMEs do sector do comércio em Bogotá. *Estudios gerenciales*, 31(134), 79-87.
- OECD. (2020). *Logistics and transport workforce skills and trends*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.
- Ortega, M. (mayo 2011). Estrategias emergentes en la Pyme de México en ambientes de incertidumbre. Un estudio cualitativo en empresas del sector automotriz. En las memorias de XV Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas, celebrado en Veracruz, México, 17.
- Rubio, A. & Aragón, A. (Julio-septiembre, 2006). Competitividad y recursos estratégicos en la Pyme. *Revista de empresa*, 17(1), pp. 32-47.
- RICyT (2009). *Manual de Lisboa*, Portugal: Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología.
- Sánchez, R., & Wilmsmeier, G. (2019). Cadenas logísticas y PYMES de transporte en países emergentes. *Journal of Transport Economics*, 10(3), 56-75.
- SCT. (2023). Informe anual sobre puertos y transporte marítimo. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Recuperado de <https://www.gob.mx/sct>
- Schwab, K., & Sala-i-Martin, X. (2017). *The Global Competitiveness Report 2017-2018*. World Economic Forum.
- Saavedra García, M. L. (2012). Una propuesta para la determinación de la competitividad en la pyme latinoamericana. *Pensamiento y gestión* (33), 93-124.
- UNCTAD. (2021). *Sustainable freight transport and logistics*. United Nations Conference on Trade and Development.
- WEF (2019). Índice de competitividad internacional (2021). Recuperado de [https://imco.org.mx/indice-de-competitividad-internacional-2021/#:~:text=Relaciones%20internacionales%3A%20\(Posici%C3%B3n%2040\),las%20exportaciones%20de%20alta%20tecnolog%C3%ADa](https://imco.org.mx/indice-de-competitividad-internacional-2021/#:~:text=Relaciones%20internacionales%3A%20(Posici%C3%B3n%2040),las%20exportaciones%20de%20alta%20tecnolog%C3%ADa)
- World Bank. (2022). *Logistics Performance Index Report*. Banco Mundial.
- World Bank. (2023). *Logistics Performance Index Report*. Banco Mundial.
- Zeballos, E. (2001). *Contabilidad general. Teoría y práctica*. Arequipa, Perú: EMC.



Análisis de la capacidad de aislamiento de materiales con porosidad cerrada: escudo térmico

Analysis of the insulation capacity of closed porosity materials: thermal shield

Fernando Calderón Ayala ¹
Omar Gabriel Hernández González ²
José Gabriel Ayala Landeros ³

RESUMEN

El estudio “Escudo Térmico” explora la viabilidad de desarrollar ladrillos cerámicos con porosidad cerrada inducida por almidón, orientados a reducir la conductividad térmica sin comprometer la integridad estructural. Desde la ingeniería de materiales, la combinación controlada de caolín, diatomita y bentonita, con variaciones en el contenido de almidón (10–30 %), permitió generar matrices cerámicas ligeras con densidades decrecientes de 0.937 a 0.823 g/cm³. Este descenso en densidad se correlacionó directamente con una disminución significativa de la conductividad térmica, alcanzando reducciones de hasta 81.04 % respecto a la alúmina patrón (0.12 W/mK). El proceso de pirólisis y sinterización a 980 °C garantizó la formación de poros cerrados estables, atribuibles a la descomposición térmica del almidón. Este comportamiento evidencia un control efectivo del transporte térmico por conducción y una optimización de la microestructura sin recurrir a cementos Portland. En términos de sostenibilidad, los resultados posicionan a estos cerámicos como alternativas viables a los aislantes sintéticos convencionales, combinando bajo impacto ambiental, estabilidad térmica y durabilidad.

PALABRAS CLAVES: aislamiento térmico, porosidad cerrada, eficiencia energética, materiales sostenibles.

Fecha de recepción: 02 de noviembre, 2025.

Fecha de aceptación: 13 de marzo, 2026.

¹ Profesor-Asignatura del Tecnológico Nacional de México/ IT de San Juan del Río (ITSJR)/ Dpto. Ingeniería en Sistemas Computacionales, Av. Tecnológico S/N, San Juan del Río, Qro. fernando.ca@sjuanrio.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0001-2927-4895>

² Profesor-Asignatura del Tecnológico Nacional de México/ IT de San Juan del Río (ITSJR)/ Dpto. Ingeniería Industrial, Av. Tecnológico S/N, San Juan del Río, Qro. omar.hg@sjuanrio.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0006-4495-2398>

³ Profesor-Investigador del Tecnológico Nacional de México/ I.T. de San Juan del Río (ITSJR)/ Dpto. Ingeniería Industrial, Av. Tecnológico S/N, San Juan del Río, Qro. **Autor Corresponsal**, gabriel.al@sjuanrio.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-6967-5175>



Análisis de la capacidad de aislamiento de materiales con porosidad cerrada: escudo térmico

ABSTRACT

The study “Thermal Shield” explores the feasibility of developing ceramic bricks with closed porosity induced by starch, aimed at reducing thermal conductivity without compromising structural integrity. From a materials engineering perspective, the controlled combination of kaolin, diatomite, and bentonite—with starch contents ranging from 10% to 30%—enabled the formation of lightweight ceramic matrices exhibiting decreasing densities from 0.937 to 0.823 g/cm³. This reduction in density directly correlated with a significant decrease in thermal conductivity, achieving reductions of up to 81.04% compared to standard alumina (0.12 W/mK). The pyrolysis and sintering process at 980 °C ensured the formation of stable closed pores, attributable to the thermal decomposition of starch. This behavior demonstrates effective control of heat transfer by conduction and microstructural optimization without the use of Portland cement. In terms of sustainability, the results position these ceramics as viable alternatives to conventional synthetic insulators, combining low environmental impact, thermal stability, and durability.

KEYWORDS: thermal insulation; closed porosity; energy efficiency; sustainable materials.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción representa uno de los sectores de mayor impacto ambiental, al ser responsable del 36 % del consumo energético global y del 39 % de las emisiones de CO₂ asociadas a la energía, derivadas principalmente del uso intensivo de materiales convencionales como el concreto (UNEP, 2022). A ello se suma que cerca del 11 % de las emisiones globales de CO₂ provienen de la energía incorporada durante la fabricación y transporte de materiales de construcción (Akadiri et al., 2012). Frente a este panorama, resulta imprescindible el desarrollo de alternativas sostenibles que reduzcan la dependencia del cemento Portland y permitan disminuir tanto la huella de carbono como la carga energética de los edificios.

En este contexto, los materiales cerámicos con porosidad controlada se perfilan como una estrategia eficaz para mejorar la eficiencia térmica en edificaciones, adaptándose a las condiciones climáticas de cada región. A diferencia de los concretos tradicionales, estos materiales no requieren cemento como aglomerante, presentan menor densidad y ofrecen un mayor control de la transferencia de calor, lo que los convierte en candidatos idóneos para aplicaciones constructivas no estructurales y de aislamiento.

Los materiales aislantes convencionales, como la espuma de poliuretano, la lana mineral o el poliestireno expandido, aunque efectivos en el corto plazo, presentan limitaciones importantes: toxicidad en caso de combustión, baja reciclabilidad y alta carga ambiental en su disposición final (Arenas & Tenorio, 2019; American Family Insurance, 2023; Santos et al., 2021). En contraste, los cerámicos porosos destacan por su estabilidad térmica, durabilidad y menor impacto ambiental (Hegazy et al., 2012). La incorporación de porosidad cerrada en ladrillos cerámicos permite disminuir significativamente la conductividad térmica sin incrementar la absorción de agua ni comprometer su integridad básica (Hassani et al., 2014). Estudios previos han mostrado que la adición de diatomita, almidón o bentonita facilita la generación de poros cerrados y contribuye al mejoramiento de las propiedades aislantes (Baccour et al., 2009; Singh & Mohapatra, 2014).

Análisis de la capacidad de aislamiento de materiales con porosidad cerrada: escudo térmico

Este proyecto plantea el desarrollo del Escudo Térmico, un ladrillo cerámico con porosidad cerrada inducida por almidón, diseñado para reducir la conductividad térmica y la densidad del material, sin depender del cemento como aglomerante. En las Tablas 1, 2, 3 y 4 se presentan las composiciones químicas típicas del Caolín, Diatomita, Almidón y Bentonita respectivamente.

Tabla 1. Composición Química del Caolín

Óxido	Formula	Contenido (%)
Dióxido de silicio	SiO ₂	45-50%
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	35-39%
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	<0.5%
Óxido de titanio	TiO ₂	<1%
Óxido de calcio	CaO	<0.1%
Óxidos de magnesio	MgO	<0.5%
Óxido de sodio	NaO	<0.1%
Óxido de potasio	K ₂ O	<0.2%
Humedad	H ₂ O	12-14%

Fuente: Hongfei C., 2012

Nota: El caolín fue asumido como principalmente caolinita (Al₂Si₂O₅(OH)₄)

Tabla 2. Composición Química de la Diatomita

Óxido	Formula	Contenido (%)
Dióxido de silicio	SiO ₂	80-94%
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	1-4%
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	0.5-2%
Óxido de calcio	CaO	0.2-1%
Óxidos de magnesio	MgO	0.2-1%
Óxido de sodio	NaO	0.1-0.5%
Óxido de potasio	K ₂ O	0.1-0.5%
Cenizas	H ₂ O	3-7%

Fuente: Hernández-Ávila, et al., 2017

Tabla 3. Composición Química del Almidón

Componente	Contenido (%)	Descripción
Almidón (amilosa y amilopectina)	85-90%	Polisacárido principal
Humedad	8-13%	Agua residual
Proteínas	0.3-0.5%	Proteínas residuales
Lípidos (grasas)	0.1-0.2%	Trazas de aceites
Cenizas (minerales)	0.1-0.3%	Restos minerales
Fibra dietética	0-0.2%	Residuos fibrosos

Fuente: ChemLibreTexts. (2019)

Nota: El almidón, como polisacárido, está formado por unidades repetidas de glucosa con fórmula general (C₆H₁₀O₅)_n

Tabla 4. Composición Química de la Bentonita

Óxido	Formula	Contenido (%)
Dióxido de silicio	SiO ₂	55-61%
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	14-20%
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	1-4%
Óxido de titanio	TiO ₂	<1%
Óxido de calcio	CaO	0.5-2%
Óxidos de magnesio	MgO	2-5%
Óxido de sodio	NaO	2-4%
Óxido de potasio	K ₂ O	0.3-1%
Cenizas	-	6-13%

Fuente: Según Iran Bentonite Co. (s. f.)

Nota: La bentonita es básicamente montmorillonita con fórmula (Na,Ca)_{0.33}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂·nH₂O y presenta SiO₂ y Al₂O₃.

Dado que la bentonita no se debe agregar a más de 5%, debido a que a mayor proporción afecta las propiedades que se están buscando, lo más importante es que no se formarían poros y afectaría a la variable dependiente que es la conductividad térmica. La investigación se realizó en el Instituto Tecnológico de San Juan del Río, bajo un enfoque de la Planeación Avanzada de la Calidad y con



Análisis de la capacidad de aislamiento de materiales con porosidad cerrada: escudo térmico

la finalidad de atender necesidades de aislamiento en distintas regiones climáticas de México. La pregunta central que guía este estudio es: ¿Cómo influye la porosidad cerrada, generada a partir de caolín, diatomita, almidón y bentonita, en el rendimiento térmico de ladrillos cerámicos?

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de materiales cerámicos con porosidad cerrada representa una línea de investigación estratégica para responder a los desafíos energéticos y ambientales del sector de la construcción. Actualmente, esta industria es responsable de un elevado consumo energético global y de un porcentaje significativo de las emisiones de CO₂, debido principalmente al uso extensivo de materiales convencionales como el cemento Portland y los aislantes sintéticos. Frente a esta situación, surge la necesidad de diseñar soluciones constructivas más sostenibles que reduzcan la huella de carbono, mejoren la eficiencia energética y aprovechen materias primas de bajo impacto ambiental.

El proyecto “Escudo Térmico” aborda esta problemática mediante la formulación de ladrillos cerámicos con porosidad cerrada inducida por almidón, los cuales logran disminuir la conductividad térmica sin afectar su integridad estructural. Este enfoque aprovecha mecanismos fisicoquímicos controlados —como la pirólisis del almidón y la sinterización a temperaturas moderadas— para generar matrices cerámicas ligeras con propiedades térmicas optimizadas. Dichas características los posicionan como alternativas competitivas frente a los materiales aislantes sintéticos tradicionales, los cuales suelen presentar desventajas ambientales, de reciclabilidad y de seguridad en caso de combustión.

Asimismo, la investigación aporta conocimiento valioso en el campo de la ingeniería de materiales al establecer la relación entre la microestructura, la densidad y el comportamiento térmico de cerámicos porosos, ofreciendo una base experimental para futuras aplicaciones en edificaciones sostenibles. Desde una perspectiva tecnológica y de innovación, los resultados obtenidos pueden contribuir al desarrollo de productos nacionales de alto valor agregado, con potencial de transferencia hacia la industria de la construcción y alineados con los objetivos globales de eficiencia energética y descarbonización.

METODOLOGÍA

Debido a limitaciones de recursos, el presente estudio se restringió a la evaluación de tres formulaciones cerámicas, todas con la misma proporción base de caolín, diatomita y bentonita, y variando únicamente el contenido de almidón como agente formador de poros.

Composiciones evaluadas

La Tabla 5 muestra las proporciones en peso de las materias primas empleadas en cada prueba.

Tabla 5. Formulaciones cerámicas evaluadas en este estudio

Probeta	Caolín (%)	Diatomita (%)	Bentonita (%)	Almidón (%)
P1	76	10	5	10
P2	76	10	5	20
P3	76	10	5	30

Fuente: Elaboración propia



Análisis de la capacidad de aislamiento de materiales con porosidad cerrada: escudo térmico

Preparación de muestras

Los polvos de caolín, diatomita y bentonita se homogeneizaron en seco. Posteriormente se incorporó el almidón, en proporción según la Tabla 5, y se añadió agua destilada hasta obtener una masa plástica. La mezcla fue vertida en los moldes hasta completar su volumen interno y se dejó en reposo a temperatura ambiente por 24 horas para permitir la gelificación por acción del almidón. Las muestras se secaron a 105 °C durante 24 h para eliminar humedad libre. Las dimensiones de las probetas fueron de 38 mm de diámetro por espesor variable de acuerdo al llenado de los moldes.

Tratamiento térmico:

En la etapa de pirólisis las probetas se calentaron hasta 600 °C (200 °C/h) para eliminar el almidón. A continuación, se sinterizaron a una temperatura de 980 °C (200 °C/h) con 2 h de sostenimiento, en atmósfera oxidante.

Medición de conductividad térmica

Se utilizó el método comparativo en régimen estacionario, conforme a la norma ASTM E1225-99:

- Principio: La muestra se coloca en serie con una barra de referencia de conductividad conocida. Bajo un mismo flujo de calor axial, se miden gradientes de temperatura en ambos elementos, calculando la conductividad de la muestra a partir de la relación entre los gradientes (Fig. 1).
- Montaje:
 - Fuente de calor en el extremo caliente y sumidero en el extremo frío (Fig. 2).
 - Guardas térmicas para minimizar pérdidas laterales (Fig. 3).
 - Termopares tipo J fijados en posiciones conocidas sobre muestra y referencia.

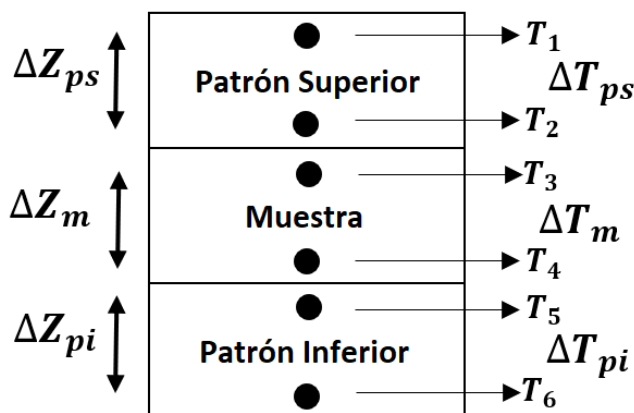


Figura 1. Principio del Método Comparativo

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la capacidad de aislamiento de materiales con porosidad cerrada: escudo térmico



Figura 2. Equipo para medición de Conductividad Térmica (ASTM E1225-99).
Fuente: Elaboración propia



Figura 3. Diseño de guardas y acomodo de probetas.
Fuente: Elaboración propia

Procedimiento:

1. Montaje serie referencia–muestra. El material de referencia fueron pastillas de alúmina (Al_2O_3) sinterizada con una conductividad térmica de 0.12 W/m K .
2. Aplicación de potencia controlada y espera hasta alcanzar régimen estacionario. El control de la potencia del sistema se realiza mediante la programación de la temperatura en la fuente, la cual es censada mediante un termopar tipo J. La programación del controlador digital fue de $300 \text{ }^\circ\text{C}$.
3. Registro de temperaturas en ambos cuerpos. El registro de la temperatura se realizó mediante un sistema de adquisición de datos, empleando una tarjeta NI 9211 y un programa para la adquisición desarrollado en el software NI LabView 2025 Q1. La velocidad de muestreo fue de 1 muestra/ segundo, en un total de 3600 segundos.
4. Cálculo de la conductividad Térmica. Para realizar el cálculo se tomó en cuenta la fórmula 1,

Análisis de la capacidad de aislamiento de materiales con porosidad cerrada: escudo térmico

$$k_m = \frac{\Delta Z_m}{2\Delta T_m} \left(k_{ps} \frac{\Delta T_{ps}}{\Delta Z_{ps}} + k_{pi} \frac{\Delta T_{pi}}{\Delta Z_{pi}} \right) \quad 1$$

En donde:

k = Conductividad térmica

ΔZ = Distancia de separación entre termopares

ΔT = Gradiente de temperatura

ps = patrón superior; pi= patrón inferior; m = muestra

Considerando que la distancia de separación entre termopares y la conductividad térmica para las probetas patrón son iguales, la ecuación 1 se transforma en 2:

$$k_m = \frac{k_p}{2\Delta T_m} (\Delta T_{ps} + \Delta T_{pi}) \quad 2$$

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como primer resultado se muestran las probetas sinterizadas a 980 °C, las cuales presentaban buena consistencia para su manipulación. En la Figura 4, se puede apreciar el resultado de la fabricación de las probetas con diferente contenido de almidón.

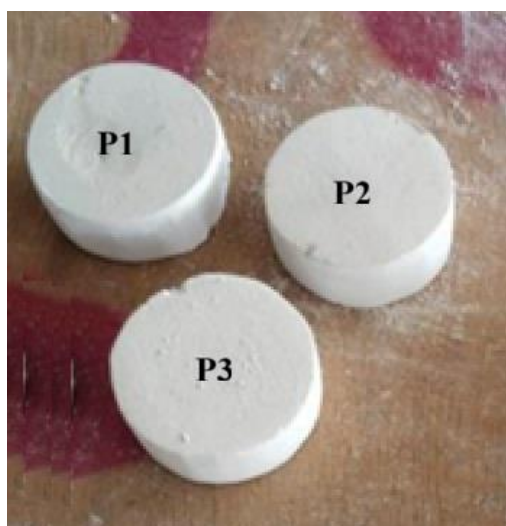


Figura 4. Probetas para pruebas.

Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, se presenta la densidad (Tabla 6) de las probetas obtenidas después de la sinterización. Se presenta el cálculo del volumen y la densidad de acuerdo con las dimensiones de las probetas.

Tabla 6. Densidad de las probetas

Probeta	Almidón (%)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
P1	10	17	18.146	0.937
P2	20	16	18.146	0.882
P3	30	14	17.012	0.823

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la capacidad de aislamiento de materiales con porosidad cerrada: escudo térmico

Finalmente, se presenta la gráfica de las mediciones de la probeta 1 (Fig. 5), correspondiente al contenido de 10 % de almidón. La Tabla 7, muestra los resultados de la medición de la conductividad térmica del material propuesto.

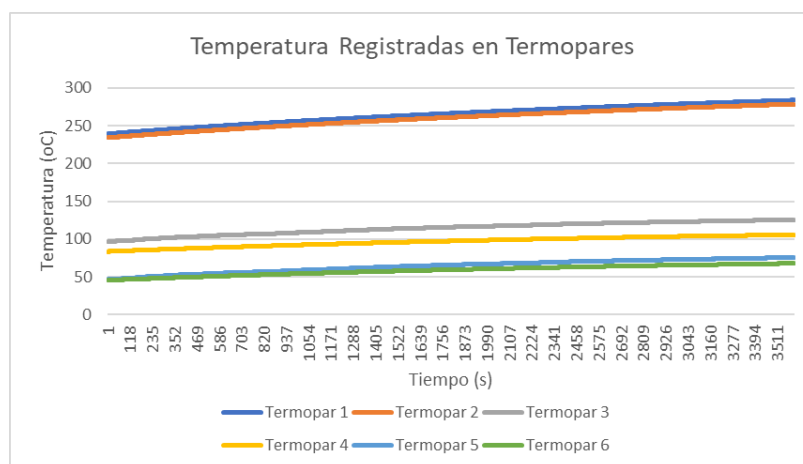


Figura 5. Temperaturas registradas en termopares.
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Resultados de la medición de la conductividad térmica de las probetas con diferente contenido de almidón

Probeta	ΔT_{ps} (°C)	ΔT_m (°C)	Δt_{pi} (°C)	k_p (W/mK)	k_m (W/mK)
P1	5.235	20.035	4.25	0.12	0.02841
P2	5.126	22.342	4.04	0.12	0.02462
P3	5.168	24.126	3.982	0.12	0.02276

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en este proyecto demostraron que las proporciones adecuadas de caolín, diatomita y almidón y bentonita permiten fabricar productos cerámicos con porosidad cerrada capaces de ofrecer un mejor aislamiento térmico. De acuerdo con la tabla 6 y 7, a medida que disminuye la densidad y aumenta la porosidad la conductividad térmica disminuye proporcionando un mejor aislamiento térmico.

Tomando como base la conductividad térmica de la alúmina de 0.12 W/mK, la probeta P1 disminuye la conductividad térmica en un 76.32%, mientras que la probeta P2 disminuye un 79,49% y finalmente la probeta P3 lo hace en un 81.04%.

Estos resultados demuestran que variando el porcentaje de porosidad en materiales cerámicos se puede controlar la conductividad térmica de material, ajustando esta propiedad de acuerdo con la aplicación específica que se requiera.

Es importante comentar que no se disponía de algún equipo que permitiera medir la porosidad cerrada, por lo que en el futuro será necesario complementar esta información con este tipo de cálculos.

REFERENCIAS

- Akadiri, P. O., Chinyio, E. A., & Olomolaiye, P. O. (2012). Design of a sustainable building: A conceptual framework for implementing sustainability in the building sector. *Buildings*, 2(2), 126–152. <https://doi.org/10.3390/buildings2020126>
- American Family Insurance. (2023). Fire safety: The dangers of polyurethane foam. American Family Insurance Group. Recuperado de <https://www.amfam.com>
- Arenas, J. P., & Tenorio, R. (2019). Materials for noise control in buildings: A review. *Applied Acoustics*, 146, 180–197. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.10.018>
- Baccour, H., Medhioub, M., Jamoussi, F., & Mhiri, T. (2009). Influence of clay composition on the mechanical and thermal properties of fired clay bricks. *Journal of the European Ceramic Society*, 29(14), 2379–2385. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2009.02.006>
- Hassani, A., Khodadadi, A., & Nouri, A. (2014). Thermal conductivity of porous ceramics: The effect of porosity and pore size distribution. *Ceramics International*, 40(9), 14267–14272. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.05.075>
- Hegazy, B. E., Fouad, H. A., & Hassanain, A. M. (2012). Incorporation of water sludge, silica fume, and rice husk ash in brick making. *Journal of the American Ceramic Society*, 95(6), 1661–1667. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2012.05102.x>
- Santos, S., Silva, A., & de Brito, J. (2021). Thermal insulation materials in buildings: A review on environmental impacts and recycling. *Journal of Building Engineering*, 44, 102612. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102612>
- Singh, V. P., & Mohapatra, B. K. (2014). Thermal insulating lightweight fired clay bricks incorporating fly ash. *Construction and Building Materials*, 68, 470–477. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.024>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). 2022 Global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. Nairobi: UNEP.

Caracterización reológica en el punto de gel del poli (óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos

Rheological characterization at the gel point of poly (ethylene oxide) and poly(ϵ -caprolactone): Influence of temperature on viscoelastic moduli

Alejandro Ortiz Fernández ¹

Emilio Pérez Pacheco ²

RESUMEN

El punto de gel es una transición reológica fundamental en sistemas poliméricos, caracterizada por la igualdad entre los módulos viscoelásticos elástico (G') y viscoso (G''), y resulta determinante para comprender la procesabilidad y estabilidad estructural del material. En este trabajo se analizó de manera comparativa la reología en el punto de gel del poli (óxido de etileno) (PEO) y el poli(ϵ -caprolactona) (PCL), evaluando la influencia de la temperatura sobre los módulos viscoelásticos y la viscosidad compleja. Los ensayos reológicos se realizaron a 80, 100 y 120 °C, identificando el punto de gel a partir de la condición $G' \approx G''$ para cada polímero. Los resultados muestran que el PEO alcanza el punto de gel a frecuencias angulares que aumentan con la temperatura, pasando de 1.80 rad s⁻¹ a 80 °C hasta 2.70 rad s⁻¹ a 120 °C. En este intervalo, los valores de G' y G'' permanecen prácticamente constantes, con valores cercanos a 4.6–5.0 Pa, mientras que la viscosidad compleja disminuye de 2.92 Pa·s a 2.32 Pa·s al incrementar la temperatura. Por su parte, el PCL presenta el punto de gel a frecuencias ligeramente menores, entre 1.60 rad s⁻¹ y 2.10 rad s⁻¹, pero con módulos viscoelásticos superiores, alcanzando valores de G' y G'' de aproximadamente 5.1 Pa a 80 °C y hasta 5.6 Pa a 120 °C. Asimismo, la viscosidad compleja del PCL se mantiene más elevada (3.38–3.65 Pa·s), indicando una mayor contribución elástica en el punto de gel. Estos resultados evidencian diferencias significativas en la respuesta viscoelástica y en los mecanismos de reorganización molecular de ambos polímeros bajo condiciones térmicas equivalentes. Los parámetros reológicos obtenidos en el punto de gel proporcionan directrices valiosas para la definición de ventanas de procesamiento, permitiendo un mejor control del procesamiento en fusión, la extrusión de filamento y los procesos de manufactura aditiva dependientes de la temperatura, como la fabricación por filamento fundido (FFF).

PALABRAS CLAVES: punto de gel, propiedades reológicas, módulos viscoelásticos.

¹ 1. Profesor-Investigador. Programa Educativo de Ingeniería en Materiales. Tecnológico Nacional de México. Campus ITS Calkiní (ITESCAM). Cuerpo Académico Bioprocesos, aeortiz@itescam.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-9689-2124>

² 2. Profesor-Investigador. Programa Educativo de Ingeniería en Materiales. Tecnológico Nacional de México. Campus ITS Calkiní (ITESCAM). Cuerpo Académico Bioprocesos, eperez@itescam.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0003-2242-1183>



Caracterización reológica en el punto de gel del poli (óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos

Fecha de recepción: 26 de enero, 2026.

Fecha de aceptación: 11 de marzo, 2026.

ABSTRACT

The gel point represents a critical rheological transition in polymeric systems, characterized by the equality between the elastic (G') and viscous (G'') viscoelastic moduli, and plays a key role in defining material processability and structural stability. In this study, a comparative analysis of the gel point rheology of poly (ethylene oxide) (PEO) and poly(ϵ -caprolactone) (PCL) was conducted, focusing on the influence of temperature on viscoelastic moduli and complex viscosity. Rheological measurements were performed at 80, 100, and 120 °C, and the gel point was identified under the condition $G' \approx G''$ for each polymer. The results indicate that PEO reaches the gel point at angular frequencies that increase with temperature, from 1.80 rad s⁻¹ at 80 °C to 2.70 rad s⁻¹ at 120 °C. Across this temperature range, G' and G'' remain nearly constant, with values between 4.6 and 5.0 Pa, while the complex viscosity decreases from 2.92 Pa·s to 2.32 Pa·s as temperature increases. In contrast, PCL exhibits gel point behavior at slightly lower angular frequencies, ranging from 1.60 rad s⁻¹ to 2.10 rad s⁻¹, but with consistently higher viscoelastic moduli. G' and G'' values increase from approximately 5.1 Pa at 80 °C to 5.6 Pa at 120 °C, accompanied by higher complex viscosity values in the range of 3.38–3.65 Pa·s, indicating a more pronounced elastic contribution at the gel point. These findings reveal significant differences in the viscoelastic response and molecular reorganization mechanisms of PEO and PCL under equivalent thermal conditions. The obtained rheological parameters at the gel point provide valuable guidelines for defining processing windows, enabling improved control over melt processing, filament extrusion, and temperature-dependent additive manufacturing processes such as fused filament fabrication (FFF).

KEYWORDS: gel point, rheological properties, viscoelastic module..

INTRODUCCIÓN

La caracterización reológica de polímeros en estado fundido y en condiciones de transición estructural es un componente central para el diseño de materiales y la definición de parámetros de proceso en manufactura avanzada. En particular, las mediciones viscoelásticas en régimen oscilatorio (SAOS) permiten cuantificar, a través del módulo de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G''), la fracción de energía elástica almacenada y la energía disipada durante una deformación cíclica. Estas magnitudes, junto con su dependencia con la frecuencia y la temperatura, constituyen descriptores sensibles de la microestructura, la movilidad segmentaria y los mecanismos de relajación en materiales poliméricos. Revisiones recientes enfatizan que el análisis conjunto de G' , G'' y su razón ($\tan \delta$) ofrece una vía robusta para relacionar “estructura–reología–procesabilidad” en sistemas poliméricos complejos, incluyendo mezclas, materiales biodegradables y formulaciones funcionales [1].

Dentro de este marco, el punto de gel representa una transición reológica crítica que marca el paso desde un comportamiento predominantemente líquido hacia uno con respuesta tipo sólido, asociado a la formación de una red continua (química o física) o a un estado de conectividad/entrelazamiento efectivo. En la práctica, el punto de gel se identifica por criterios reológicos que capturan el carácter

Caracterización reológica en el punto de gel del poli (óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos

“crítico” de la transición. Un criterio ampliamente aceptado, atribuido a Winter y Chambon, establece que en el punto de gel la respuesta viscoelástica exhibe un escalamiento de potencia con la frecuencia para ambos módulos ($G'(\omega) \sim G''(\omega) \sim \omega^n$), de modo que δ se vuelve independiente de la frecuencia; esta condición proporciona una huella experimental clara para localizar la transición bajo excitación oscilatoria [2]. En paralelo, la evolución de los espectros viscoelásticos con la temperatura se utiliza para mapear ventanas de proceso (p. ej., rangos de viscosidad y de rigidez elástica) relevantes para extrusión, mezclado en fusión y deposición de filamento.

La dependencia térmica de la viscoelasticidad en polímeros fundidos no solo refleja cambios de movilidad y fricción segmentaria, sino también transformaciones microestructurales (p. ej., reorganización de dominios, cambios en la densidad de entrelazamientos efectivos, y efectos de cristalización/semicristalinidad). En ese sentido, se ha mostrado que el módulo dinámico de soluciones y fundidos puede colapsar a formas universales al escalar con variables reducidas, lo que refuerza la utilidad del análisis en frecuencia y temperatura para comparar materiales con arquitecturas distintas bajo una base común de viscoelasticidad lineal [3]. Sin embargo, esta “comparabilidad” se complica cuando los polímeros difieren de forma marcada en polaridad, cristalinidad, y mecanismos dominantes de relajación, lo cual vuelve especialmente valiosos los estudios comparativos bajo protocolos experimentales equivalentes.

En este contexto, el poli (óxido de etileno) (PEO) y el poli(ϵ -caprolactona) (PCL) constituyen dos plataformas poliméricas de alto interés por su relevancia tecnológica y por sus contrastes fisicoquímicos. El PEO es un polímero altamente flexible e hidrofílico, con capacidad de formar interacciones específicas (p. ej., con aditivos o fases polares) y con aplicaciones que abarcan desde formulaciones funcionales hasta matrices procesables por fusión. Por su parte, el PCL es un poliéster biodegradable y semicristalino ampliamente empleado en desarrollos biomédicos y de ingeniería, con punto de fusión relativamente bajo (alrededor de 60 °C, dependiendo de masa molar y cristalinidad), lo que condiciona su estabilidad térmica y su ventana de procesamiento. La literatura reciente sobre materiales basados en PCL, por ejemplo, en mezclas y sistemas biodegradables, subraya cómo su morfología y transiciones térmicas impactan tanto el desempeño mecánico como la respuesta en fusión y su compatibilidad con rutas de manufactura [4].

Un desafío adicional, particularmente importante para polímeros biodegradables y sensibles a temperatura, es que las mediciones reológicas pueden verse afectadas por degradación termo-oxidativa o por cambios estructurales inducidos por el historial térmico, generando “artefactos” que alteran la interpretación de la viscoelasticidad. Estudios recientes han enfatizado la necesidad de diseños experimentales y criterios de análisis que mitiguen estos efectos al evaluar propiedades reológicas de polímeros biodegradables, sobre todo cuando se busca inferir conclusiones de procesabilidad a partir de mediciones dinámicas [5]. En este sentido, el enfoque centrado en el punto de gel y en el balance $G' - G''$ resulta útil, ya que proporciona un marcador reproducible del cambio de régimen mecánico, siempre que se controle adecuadamente la historia térmica, el tiempo de residencia y las condiciones de ensayo.

La motivación aplicada de estudiar la reología (y transiciones viscoelásticas) se intensifica en manufactura aditiva por deposición de filamento, particularmente en fused filament fabrication (FFF), donde el material debe satisfacer simultáneamente requisitos de flujo en boquilla, estabilidad dimensional post-extrusión y capacidad de coalescencia/adhesión intercapa. Revisiones recientes describen cómo la dinámica de flujo del fundido, el enfriamiento/solidificación y la caracterización de propiedades del material se integran para predecir deformación del filamento, tensiones residuales y calidad de unión, destacando el papel de parámetros reológicos en el control del proceso [6]. Además, trabajos recientes en impresión 3D de polímeros y mezclas muestran una correlación directa entre microestructura del fundido, tiempos de relajación, hinchamiento a la salida de la



Caracterización reológica en el punto de gel del poli(óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos

boquilla y ventana de velocidades de extrusión imprimibles, reforzando la idea de que la viscoelasticidad no solo “describe” el material, sino que guía criterios cuantitativos de imprimibilidad y estabilidad geométrica [7].

A pesar de la amplia adopción de PEO y PCL en formulaciones y desarrollos de manufactura, persisten vacíos en la comparación directa de su comportamiento viscoelástico en condiciones de transición tipo gel bajo variación térmica, particularmente cuando el análisis se formula en términos de criterios reológicos del punto de gel (p. ej., balance $G' \approx G''$ y/o independencia de $\tan \delta$ con la frecuencia). La mayoría de los reportes tienden a enfocarse en un solo polímero, en mezclas específicas, o en ventanas de proceso sin establecer una referencia comparativa clara entre polímeros con naturalezas contrastantes. Esta brecha limita la construcción de reglas de selección de material basadas en propiedades fundamentales (p. ej., la relación entre rigidez elástica y disipación viscosa cerca de transiciones críticas), especialmente relevantes cuando se pretende optimizar procesamiento en fusión, extrusión de filamento y FFF.

En consecuencia, un análisis comparativo de la reología en el punto de gel de PEO y PCL bajo condiciones térmicas controladas contribuye en dos niveles: (i) fundamental, al esclarecer cómo la temperatura modula el balance entre mecanismos elásticos y viscosos en polímeros con movilidad y cristalinidad distintas; y (ii) tecnológico, al traducir parámetros reológicos en criterios para definir ventanas de proceso y sensibilidad térmica, con impacto directo en rutas como extrusión, compounding y manufactura aditiva. Este tipo de aproximación anclada en métricas reológicas cuantificables y criterios aceptados para transiciones tipo gel permite, además, conectar el desempeño en laboratorio con variables de proceso industrial y con exigencias de estabilidad y repetibilidad en fabricación avanzada.

JUSTIFICACIÓN

El punto de gel representa una transición crítica en los sistemas poliméricos, en la cual el material pasa de un comportamiento predominantemente viscoso a uno viscoelástico sólido, definiendo de manera directa su procesabilidad, estabilidad estructural y desempeño final. Aunque la reología del punto de gel ha sido ampliamente estudiada en sistemas termoestables y redes reticuladas, existe una carencia de estudios comparativos que analicen este fenómeno en polímeros termoplásticos semicristalinos e hidrofílicos con arquitecturas moleculares contrastantes, como el poli(óxido de etileno) (PEO) y el poli(ϵ -caprolactona) (PCL). El PEO y el PCL presentan diferencias fundamentales en polaridad, flexibilidad de cadena, grado de cristalinidad y sensibilidad térmica, lo que sugiere mecanismos de gelación y respuestas viscoelásticas distintas en condiciones de calentamiento. Sin embargo, la comparación directa de sus módulos viscoelásticos (G' y G'') en el punto de gel bajo variación térmica no ha sido abordada de manera sistemática, a pesar de su relevancia en aplicaciones emergentes como procesamiento reológico controlado, manufactura aditiva, formulación de biopolímeros y sistemas funcionales dependientes de temperatura. Comprender cómo la temperatura modula el equilibrio entre los módulos elástico y viscoso en el punto de gel de estos polímeros permite establecer criterios reológicos fundamentales para la selección de materiales, optimizar ventanas de procesamiento y predecir la estabilidad mecánica de sistemas poliméricos sometidos a condiciones térmicas variables. En este contexto, el presente estudio aporta un enfoque inédito al analizar comparativamente la reología en el punto de gel del PEO y el PCL, contribuyendo al entendimiento fundamental de la transición sol-gel en polímeros con naturalezas fisicoquímicas contrastantes y fortaleciendo la base científica para su uso en aplicaciones avanzadas.

Caracterización reológica en el punto de gel del poli (óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos

METODOLOGÍA

Materiales

Se emplearon poli(ϵ -caprolactona) (PCL) con un peso molecular promedio en número (M_n) de 80,000 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ y densidad de 1.15 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Sigma-Aldrich), así como poli(óxido de etileno) (PEO) con M_n de 100,000 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$, densidad de 1.20 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Polysciences). Ambos polímeros fueron utilizados tal como se recibieron, asegurando la ausencia de aditivos o plastificantes que pudieran alterar su respuesta reológica intrínseca. Previo a los ensayos reológicos, las muestras fueron secadas en estufa de vacío con el fin de eliminar humedad residual y evitar efectos de degradación o variaciones inducidas por agua durante las mediciones térmicas.

Caracterización reológica

Las propiedades reológicas de cada polímero en estado fundido se determinaron mediante el uso de un reómetro rotacional Rheometric System (TA Instruments AR-1000), utilizando una geometría de platos paralelos de 25 mm de diámetro. Todas las mediciones se realizaron bajo atmósfera de nitrógeno, con el objetivo de minimizar posibles procesos de degradación termo-oxidativa durante el ensayo. Los experimentos se llevaron a cabo a temperaturas isotérmicas de 80, 100 y 120 °C, seleccionadas para cubrir un intervalo representativo del comportamiento viscoelástico de ambos polímeros en la región de transición hacia el punto de gel. Para cada condición térmica, las muestras se mantuvieron el tiempo suficiente para asegurar la estabilización térmica antes de iniciar las mediciones. Los ensayos se realizaron en régimen de cizalla oscilatoria de pequeña amplitud (SAOS), verificando previamente que la deformación aplicada se encontrara dentro de la región viscoelástica lineal. Se efectuaron barridos de frecuencia angular (ω) en el intervalo de 0.1 a 100 Hz, empleando una amplitud de deformación constante de 0.15 %. Durante los ensayos dinámicos se determinaron el módulo de almacenamiento (G'), el módulo de pérdida (G''), la viscosidad compleja (η^*), así como las contribuciones asociadas a la energía de disipación viscosa (η') y a la energía elástica almacenada (η''), parámetros que permiten describir de manera integral la respuesta viscoelástica de los sistemas poliméricos estudiados.

Determinación del punto de gel

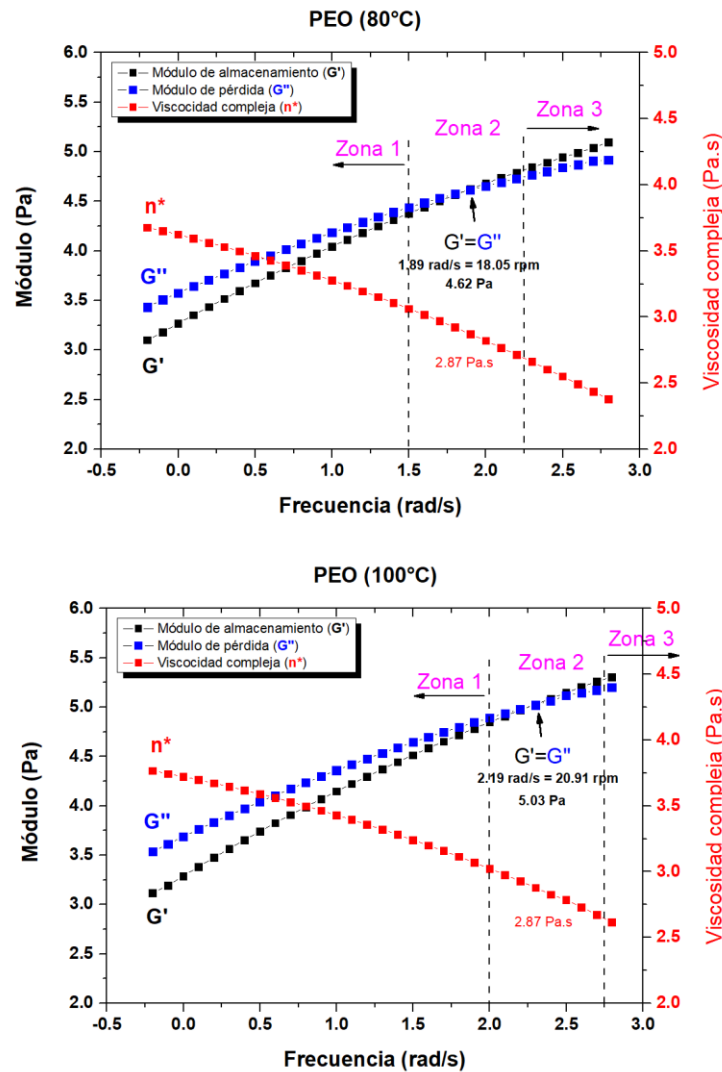
El punto de gel para cada polímero y condición térmica se identificó a partir del criterio reológico del cruce entre los módulos G' y G'' , es decir, cuando $G' \approx G''$ durante el barrido de frecuencia. La frecuencia angular correspondiente a este cruce se consideró representativa de la transición sol-gel del material. En el punto de gel se registraron los valores de G' , G'' y η^* , permitiendo establecer una comparación directa del comportamiento viscoelástico del PCL y del PEO bajo condiciones térmicas equivalentes, así como evaluar su relevancia para procesos de transformación en estado fundido.

RESULTADOS

La Figura 1 muestra el comportamiento reológico del poli (óxido de etileno) (PEO) en función de la frecuencia angular a 80, 100 y 120 °C, evidenciando una transición viscoelástica claramente definida en todo el intervalo térmico estudiado. En las tres condiciones se identifican tres regiones reológicas características: a bajas frecuencias, el módulo de pérdida es mayor que el módulo de almacenamiento ($G'' > G'$), lo que indica un comportamiento predominantemente viscoso; al incrementar la frecuencia, ambos módulos convergen hasta alcanzar el cruce $G' = G''$, asociado al punto de gel; y finalmente, a frecuencias más altas, el módulo de almacenamiento supera al módulo de pérdida ($G' > G''$), reflejando una respuesta dominada por el carácter elástico del material. De manera simultánea, la viscosidad compleja disminuye progresivamente con la frecuencia, mostrando un comportamiento típico de adelgazamiento por cizalla, característico de polímeros en estado

Caracterización reológica en el punto de gel del poli (óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos

fundido. El efecto de la temperatura se manifiesta principalmente en el desplazamiento del punto de gel hacia frecuencias angulares mayores, lo que sugiere una mayor movilidad molecular y una reducción del tiempo característico de relajación del PEO conforme aumenta la temperatura. Este comportamiento dinámico observado en la Figura 1 se cuantifica en la Tabla 1, donde se reportan los valores del punto de gel identificados bajo la condición $G' = G''$. Los datos muestran que la frecuencia angular del punto de gel aumenta de aproximadamente $1.9 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ a 80°C hasta $2.7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ a 120°C , mientras que los valores de los módulos viscoelásticos en el cruce permanecen prácticamente constantes, en el intervalo de $4.6\text{--}5.0 \text{ Pa}$, independientemente de la temperatura. Asimismo, la viscosidad compleja en el punto de gel presenta una disminución con el incremento de la temperatura, pasando de valores cercanos a $2.9 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ a $2.3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, lo que indica una menor resistencia al flujo en condiciones térmicas más elevadas.



Caracterización reológica en el punto de gel del poli (óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos

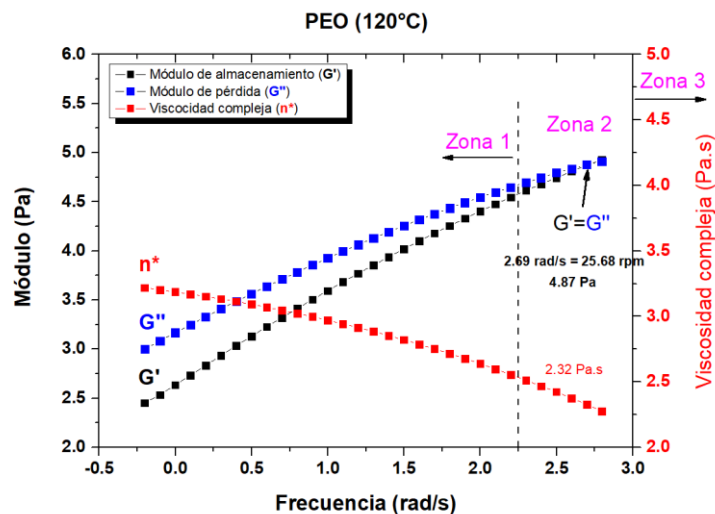


Figura 1. Comportamiento reológico del poli (óxido de etileno) (PEO).

En conjunto, la descripción cualitativa de la Figura 1 y la cuantificación presentada en la Tabla 1 demuestran que la temperatura controla principalmente la dinámica de relajación y la fluidez del PEO, mientras que la rigidez viscoelástica crítica asociada al punto de gel permanece prácticamente inalterada. Este comportamiento resulta relevante para la definición de ventanas de procesamiento en fusión, extrusión de filamento y manufactura aditiva, donde el control simultáneo de la movilidad molecular y de la respuesta mecánica del material es fundamental.

Table 1. Propiedades reológicas del PEO en el punto de Gel.

Temp (°C)	w (rad/s)	w (rpm)	G' (Pa)	G'' (Pa)	η^* (Pa.s)
80	1.89	18.05	4.62	4.61	2.87
100	2.19	20.91	5.03	5.02	2.87
120	2.69	25.68	4.87	4.87	2.32

La Figura 2 presenta el comportamiento reológico del poli(ϵ -caprolactona) (PCL) en función de la frecuencia angular a 80, 100 y 120 °C, mostrando una transición viscoelástica bien definida en todo el intervalo térmico analizado. De manera similar al PEO, se identifican tres regiones reológicas características: a bajas frecuencias, el módulo de pérdida domina sobre el módulo de almacenamiento ($G'' > G'$), lo que indica un comportamiento predominantemente viscoso; a frecuencias intermedias, ambos módulos convergen hasta alcanzar el cruce $G' = G''$, correspondiente al punto de gel; y a frecuencias más elevadas, el módulo de almacenamiento supera al módulo de pérdida ($G' > G''$), reflejando una respuesta elástica o tipo sólido del material. Asimismo, la viscosidad compleja disminuye progresivamente con el incremento de la frecuencia, evidenciando un comportamiento no newtoniano de adelgazamiento por cizalla, característico de polímeros fundidos procesables.

El incremento de la temperatura produce un desplazamiento sistemático del punto de gel hacia frecuencias angulares mayores, aunque dicho desplazamiento es menos pronunciado que el

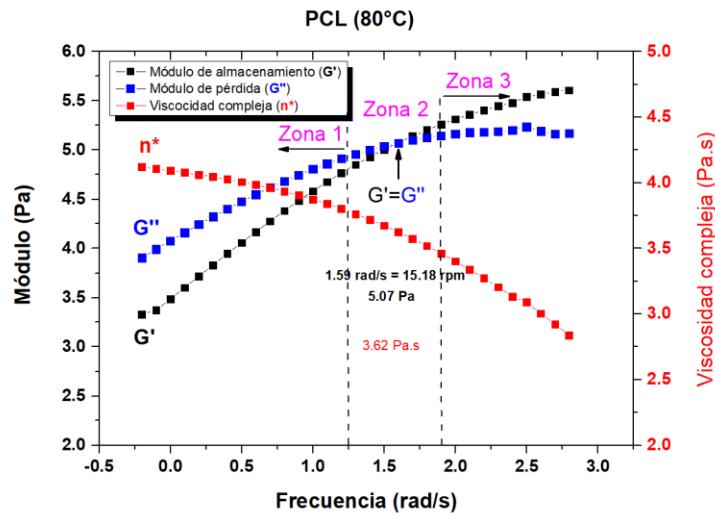


Caracterización reológica en el punto de gel del poli (óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos

observado para el PEO. Esta tendencia indica que, si bien la movilidad molecular del PCL aumenta con la temperatura, su estructura semicristalina y las interacciones intermoleculares propias del poliéster confieren una respuesta viscoelástica más rígida en comparación con el PEO. Este comportamiento cualitativo observado en la Figura 2 se resume cuantitativamente en la Tabla 2, donde se reportan los parámetros reológicos correspondientes al punto de gel.

Los datos de la Tabla 2 muestran que la frecuencia angular del punto de gel del PCL aumenta de aproximadamente $1.6 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $2.1 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ a $120 \text{ }^\circ\text{C}$. A diferencia del PEO, los valores de los módulos viscoelásticos en el punto de cruce son consistentemente más elevados, incrementándose de alrededor de 5.1 Pa a 5.6 Pa con el aumento de la temperatura. Este comportamiento sugiere una mayor contribución elástica del PCL en la transición sol-gel, asociada a una red física más resistente y a una menor flexibilidad de cadena. Asimismo, la viscosidad compleja en el punto de gel se mantiene en valores relativamente altos, en el intervalo de $3.3\text{--}3.6 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, indicando una mayor resistencia al flujo en comparación con el PEO bajo condiciones térmicas equivalentes.

En conjunto, la información cualitativa de la Figura 2 y la cuantificación presentada en la Tabla 2 evidencian que el PCL presenta una transición viscoelástica más rígida y menos sensible a la temperatura que el PEO. Estas características reológicas resultan relevantes para aplicaciones donde se requiere mayor estabilidad mecánica durante el procesamiento en fusión, así como para la definición de ventanas de extrusión y manufactura aditiva, donde un mayor control del comportamiento elástico del material puede ser determinante para la estabilidad dimensional y la calidad del producto final.



Caracterización reológica en el punto de gel del poli (óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos

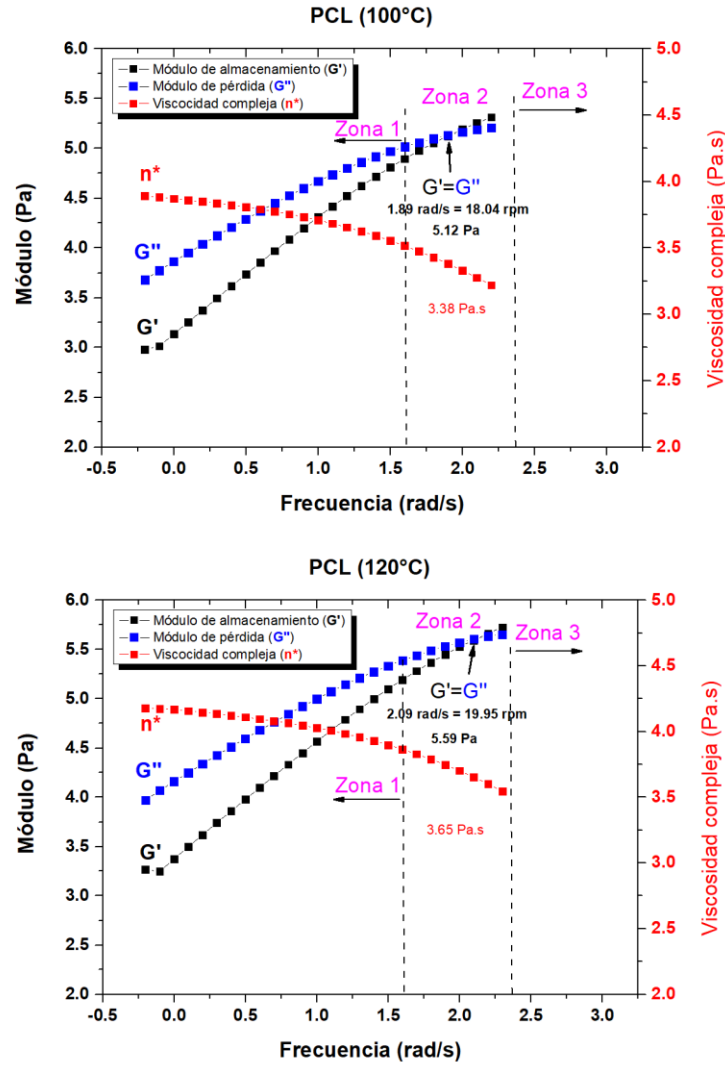


Figura 2. Comportamiento reológico del poli(ϵ -caprolactona) (PCL).

Table 2. Propiedades reológicas de la PCL en el punto de Gel.

Temp (°C)	w (rad/s)	w (rpm)	G' (Pa)	G'' (Pa)	η_1^* (Pa.s)
80	1.59	15.18	5.07	5.07	3.62
100	1.89	18.04	5.12	5.13	3.38
120	2.09	19.95	5.59	5.60	3.65

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- **Discusión comparativa PEO vs PCL (Figura 1–Tabla 1 vs Figura 2–Tabla 2)**

Los resultados reológicos comparativos muestran que PEO y PCL presentan transiciones viscoelásticas bien definidas en el intervalo de 80–120 °C, identificables por el cruce $G' \approx G''$. Este criterio es ampliamente usado para localizar el punto de gel o condición crítica de transición viscoelástica en ensayos oscilatorios, ya que implica un balance entre contribuciones elásticas y viscosas ($\tan \delta \approx 1$) [8].

- **Efecto de la temperatura en la cinética viscoelástica (desplazamiento de ω_{gel})**

En ambos polímeros, el aumento de temperatura desplaza el cruce $G'=G''$ hacia frecuencias angulares mayores, lo cual es consistente con una reducción del tiempo característico de relajación ($\lambda \sim 1/\omega_{gel}$) y con el incremento de movilidad segmentaria al calentar. Este comportamiento es coherente con los marcos modernos de reología estructural, donde la temperatura “acelera” los procesos de relajación y reconfiguración microestructural, modificando la respuesta en frecuencia [1].

Comparativamente, PEO exhibe ω_{gel} más alto en el rango estudiado, mientras que PCL muestra ω_{gel} ligeramente menor, sugiriendo que, bajo condiciones térmicas equivalentes, el PEO alcanza el balance crítico $G'=G''$ a una dinámica más rápida. Esto es consistente con la alta flexibilidad de cadena del PEO y su tendencia a responder con relajaciones más rápidas; en contraste, PCL, al ser un poliéster semicristalino, suele presentar restricciones estructurales y un comportamiento en fusión más “resistente” (mayor contribución elástica efectiva). Evidencia reciente sobre PCL en contextos de procesamiento/impresión confirma su carácter shear-thinning y la sensibilidad de G'/G'' al control térmico en rangos de procesamiento [9].

- **Diferencias en “rigidez crítica” y resistencia al flujo ($G'=G''$ y η^*)**

Un hallazgo clave es que PCL mantiene valores de $G'=G''$ más altos que PEO en el punto de cruce, y además presenta η^* más elevada en el mismo evento reológico. En términos de física del fundido, esto indica que, en la condición crítica, el PCL conserva una respuesta más sólida-elástica (mayor soporte mecánico) y una mayor resistencia al flujo que el PEO. Esta combinación (G'/G'' más altos y η^* mayor) se interpreta como una red física/entrelazamiento efectivo más “robusto” o con mayor oposición a deformación a escala oscilatoria, algo consistente con tendencias reportadas para termoplásticos (incluidos biodegradables) donde la reología distingue de forma sensible cambios estructurales y de arquitectura molecular [10].

En el caso del PEO, el hecho de que η^* disminuya más marcadamente con la temperatura (y que los módulos en el cruce permanezcan relativamente cercanos) es congruente con un material cuya procesabilidad mejora más rápidamente al incrementar T, manteniendo una rigidez crítica moderada. Esta lectura encaja con la visión actual de usar parámetros reológicos como “mapa” de ventana de proceso: a mayor temperatura, menor viscosidad compleja y menor demanda energética para flujo, lo cual es particularmente relevante en extrusión [10].

- **Implicaciones para procesamiento en fusión, extrusión y FFF**

Desde la perspectiva de manufactura, el contraste PEO–PCL es útil para definir estrategias de proceso: PCL (η^* mayor y $G'=G''$ más alto en el cruce) tiende a ofrecer mayor estabilidad mecánica del fundido y potencialmente mejor “soporte” dimensional tras la deposición; sin embargo, puede requerir mayor energía/presión de extrusión. Estudios recientes que correlacionan reología y

Caracterización reológica en el punto de gel del poli (óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos

comportamiento de impresión/material extrusión en PCL respaldan que su respuesta en G'/G'' y el shear-thinning son determinantes para ajustar temperatura y condiciones de impresión [9].

PEO (η^* menor en el cruce y ω_{gel} más alto) sugiere flujo más fácil a temperaturas elevadas y una transición hacia régimen elástico a frecuencias mayores, lo que puede ser favorable para extrusión de filamento cuando se busca menor resistencia al flujo; sin embargo, puede demandar mayor control para evitar pérdida de estabilidad geométrica si la elasticidad efectiva es insuficiente al salir de boquilla (dependiendo de enfriamiento y solidificación).

Estas consideraciones son coherentes con revisiones recientes sobre FFF, donde se enfatiza que la ventana de proceso depende del equilibrio entre capacidad de flujo (η^*) y respuesta elástica (G') para controlar estabilidad del cordón, coalescencia inter-capa y distorsión [6].

- **Consideraciones de integridad térmica y confiabilidad del análisis**

Finalmente, dado que ambos polímeros son susceptibles a cambios inducidos por historial térmico, es importante subrayar que la interpretación de tendencias con temperatura debe considerar posibles artefactos por degradación o evolución estructural durante el ensayo. En biopolímeros, trabajos recientes recomiendan enfoques de reología con control temporal y estrategias para mitigar artefactos, especialmente cuando se pretende traducir parámetros reológicos a criterios de proceso [5].

- **Síntesis comparativa**

En conjunto, los datos muestran que PEO responde con ω_{gel} más elevado y menor η^* a temperaturas altas (mejor fluidez), mientras que PCL exhibe mayor rigidez crítica ($G'=G''$) y mayor η^* (mayor soporte elástico y resistencia al flujo). Esta divergencia confirma que la temperatura modula principalmente la dinámica de relajación en ambos, pero la arquitectura/microestructura del PCL favorece una transición crítica más "rígida", lo que tiene consecuencias directas para definir ventanas de procesamiento en fusión, extrusión y FFF

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En este estudio se realizó una caracterización reológica comparativa en el punto de gel del poli (óxido de etileno) (PEO) y del poli(ϵ -caprolactona) (PCL) bajo condiciones isotérmicas de 80, 100 y 120 °C, empleando ensayos de cizalla oscilatoria de pequeña amplitud. En ambos sistemas se identificó de manera clara la transición viscoelástica asociada al cruce entre los módulos de almacenamiento y pérdida ($G' \approx G''$), confirmando la validez del criterio reológico para la determinación del punto de gel en polímeros termoplásticos.

Los resultados evidencian que el incremento de la temperatura desplaza el punto de gel hacia frecuencias angulares mayores en ambos polímeros, lo que indica una reducción del tiempo característico de relajación y un aumento en la movilidad segmentaria. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en la magnitud de los parámetros reológicos críticos. El PEO presenta valores de G' y G'' prácticamente constantes en el punto de gel y una disminución notable de la viscosidad compleja con la temperatura, lo que refleja una mayor facilidad de flujo y una respuesta dinámica más sensible al calentamiento. En contraste, el PCL exhibe valores más elevados de los módulos viscoelásticos y de la viscosidad compleja en el punto de gel, asociados a una mayor contribución elástica y a una estructura viscoelástica más rígida, característica de su naturaleza semicristalina.

Caracterización reológica en el punto de gel del poli (óxido de etileno) y el poli(ϵ -caprolactona): Influencia de la temperatura en los módulos viscoelásticos

Desde un punto de vista aplicado, estos comportamientos reológicos diferenciados implican que el PEO es más favorable para procesos donde se requiere alta fluidez y menor resistencia al flujo, mientras que el PCL ofrece mayor estabilidad mecánica en la transición viscoelástica, lo cual puede ser ventajoso en operaciones de procesamiento en fusión que demandan control dimensional. En conjunto, los parámetros reológicos obtenidos en el punto de gel proporcionan criterios cuantitativos para la definición de ventanas de procesamiento, contribuyendo al diseño y optimización de procesos como la extrusión de filamento y la manufactura aditiva dependiente de la temperatura, en particular la fabricación por filamento fundido (FFF).

Finalmente, este trabajo aporta una base experimental sólida para la comparación directa entre polímeros con arquitecturas moleculares contrastantes, fortaleciendo la comprensión de la relación entre temperatura, dinámica viscoelástica y procesabilidad en sistemas poliméricos, y abriendo la posibilidad de extender este enfoque a mezclas, compósitos y formulaciones funcionales.

REFERENCIAS

- Ilyin, S. O. (2024). Structural rheology in the development and study of complex polymer materials. *Polymers*, 16(17), 2458. <https://doi.org/10.3390/polym16172458>
- oudazi, R. (2025). Gel polymer electrolytes: definitions, classification, rheology, and interfacial properties. *Soft Matter*. <https://doi.org/10.1039/D5SM00673B>
- Lee, H., Lee, J., Ahn, H. J., Hwang, W. R., & Cho, K. S. (2024). Scaling of the linear viscoelasticity of entangled poly (ethylene oxide) aqueous solutions. *Journal of Rheology*, 68(4), 509-522. <https://doi.org/10.1122/8.0000757>
- Negaresh, M., Javadi, A., & Garmabi, H. (2024). Poly (lactic acid)/poly (ϵ -caprolactone) blends: the effect of nanocalcium carbonate and glycidyl methacrylate on interfacial characteristics. *Frontiers in Materials*, 11, 1377340. <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1377340>
- Torabi, H., Zarrin, H., & Behzadfar, E. (2025). Mitigating degradation-induced artifacts in rheological modeling of biopolymers using time-resolved rheology. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 05509. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2025.105509>
- Enriconi, M., Rodriguez, R., Araújo, M., Rocha, J., García-Martín, R., Ribeiro, J., ... & Rodríguez-Martín, M. (2025). A Comprehensive Review of Fused Filament Fabrication: Numerical Modeling Approaches and Emerging Trends. *Applied Sciences*, 15(12), 6696. <https://doi.org/10.3390/app15126696>



Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica

Recurrence Analysis in Engineering Education: A Formative Strategy as a Prospective Tool for Improving Academic Quality

Andrés Eduardo Rivas Cisneros ¹

Daniel Enrique Rivas Cisneros ²

Melissa Glikowski Castro ³

RESUMEN

La educación en ingeniería enfrenta el desafío de incorporar herramientas analíticas capaces de abordar fenómenos no lineales y sistemas dinámicos complejos. El objetivo de este trabajo es diseñar y fundamentar una unidad de aprendizaje basada en el Análisis de Recurrencias (AR) como estrategia formativa en programas de ingeniería. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de diseño curricular sustentado en investigación educativa aplicada. El proceso metodológico incluyó una revisión sistemática de literatura sobre educación en ingeniería y Educación 4.0, un análisis del campo disciplinar del AR y el diseño instruccional de una asignatura de 16 semanas orientada al análisis de sistemas dinámicos mediante diagramas de recurrencia y técnicas de cuantificación (RQA).

La propuesta integra fundamentos teóricos, prácticas de laboratorio computacional y aplicaciones en señales mecánicas, eléctricas y biomédicas, alineadas con un enfoque de aprendizaje basado en proyectos. Los resultados muestran que el AR puede incorporarse como una herramienta formativa interdisciplinaria que fortalece competencias en modelación, análisis de datos y pensamiento computacional. Este trabajo contribuye al desarrollo de propuestas curriculares innovadoras en ingeniería y establece bases para futuras implementaciones y evaluaciones empíricas en el aula.

PALABRAS CLAVES: educación en ingeniería, desarrollo curricular, sistemas dinámicos, análisis de datos, modelos matemáticos.

Fecha de recepción: 20 de febrero, 2026

Fecha de aceptación: 26 de marzo, 2026

¹ Doctor en Educación, Maestría en Administración Industrial y de Negocios con Orientación en Relaciones Industriales y Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Automatización. Profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Nuevo León, arivasc@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0004-2243-8991>

² Doctor en Ingeniería Eléctrica, Maestría en Ciencias de la Ingeniería con Orientación en Control Automático y Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Automatización. Profesor de la Preparatoria 9 de La UANL, drivasc@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-3078-4913>

³ Doctora en Educación, Maestría en Métodos Alternos y Solución de Controversias, Licenciada en Derecho, Docente de medio tiempo de la Preparatoria No. 9 de la Universidad Autónoma de Nuevo León, melissa.glikowickst@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0001-8344-7865>



Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica

ABSTRACT

Engineering education faces the challenge of incorporating analytical tools capable of addressing nonlinear phenomena and complex dynamical systems. The aim of this study is to design and theoretically support a learning unit based on Recurrence Analysis (RA) as a formative strategy in engineering programs. The research follows a qualitative curriculum design approach grounded in educational design research. The methodology included a systematic literature review on engineering education and Education 4.0, a disciplinary analysis of RA, and the instructional design of a 16-week course focused on dynamical systems analysis using recurrence plots and recurrence quantification analysis (RQA).

The proposal integrates theoretical foundations, computational laboratory activities, and applications in mechanical, electrical, and biomedical signals within a project-based learning framework. Results suggest that RA can be incorporated as an interdisciplinary educational tool that strengthens modeling skills, data analysis, and computational thinking. This work contributes to curriculum innovation in engineering education and provides a foundation for future classroom implementation and empirical evaluation.

KEYWORDS: Engineering education, Curriculum development, Dynamical systems, Data analysis, Mathematical models.

INTRODUCCIÓN

La educación en ingeniería atraviesa un momento de transformación profunda, impulsado por la acelerada evolución tecnológica, la globalización del conocimiento y las nuevas demandas del mercado laboral. En este contexto, la actualización y diversificación de los planes de estudio mediante la incorporación de asignaturas emergentes se convierte en una estrategia clave para las instituciones de educación superior. Esta renovación curricular no solo busca mantener la pertinencia académica, sino también formar profesionales capaces de afrontar los desafíos de un entorno cada vez más complejo, interconectado y dinámico (Garcés et al., 2016).

Uno de los principales motores de este cambio es la llamada Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0, caracterizada por la integración de tecnologías disruptivas como la inteligencia artificial, el internet de las cosas, la robótica avanzada, la ciberseguridad y el análisis masivo de datos. Estas innovaciones están redefiniendo los perfiles profesionales que demanda la industria, lo que obliga a las universidades a rediseñar sus programas de estudio para preparar a los estudiantes frente a este nuevo paradigma (CRUCH, 2012.) La incorporación de estas temáticas amplía el horizonte de los conocimientos técnicos y fomenta competencias transversales esenciales, tales como la adaptabilidad, el pensamiento crítico y la capacidad de aprendizaje continuo.

La pandemia de COVID-19 evidenció además la urgencia de replantear los modelos tradicionales de enseñanza y acelerar la adopción de enfoques más flexibles, digitales y centrados en el estudiante (Cárdenas et al, 2023). Ante esta realidad, las universidades deben asumir un papel proactivo en la innovación curricular, con una visión prospectiva que anticipe las necesidades de la industria y de la sociedad.

El rediseño curricular no debe limitarse al “qué” se enseña, sino también abordar el “cómo” se enseña. La incorporación de metodologías activas de enseñanza-aprendizaje —como el aprendizaje basado en proyectos, la experimentación y el trabajo colaborativo— promueve una participación más significativa de los estudiantes y el desarrollo de habilidades prácticas esenciales para su ejercicio profesional (CRUCH, 2012). Estas estrategias, combinadas con la introducción de nuevas materias, generan entornos de aprendizaje más dinámicos, inclusivos y orientados a la resolución de problemas reales.



Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica

El diseño curricular, por tanto, debe concebirse como un proceso sistemático, sustentado en un análisis riguroso de las necesidades tecnológicas, sociales y productivas. La planeación estratégica aplicada al currículo permite alinear los objetivos educativos con las expectativas del entorno, garantizando una formación pertinente, flexible y de calidad (Garcés et al., 2016). Asimismo, posibilita la evaluación y actualización continua de los programas académicos frente a los cambios del contexto.

Es un reto ajustar la educación en ingeniería a los principios y visión de la Industria 4.0, tanto en el ámbito curricular como en las prácticas pedagógicas y experiencias de laboratorio. En este sentido, el objetivo principal es desarrollar un procedimiento que permita adecuar las áreas de desarrollo curricular y los entornos prácticos mediante el aprendizaje experiencial y la aplicación de metodologías innovadoras de enseñanza-aprendizaje (Garcés & Peña, 2020).

Ante los desafíos derivados de la Cuarta Revolución Industrial como la automatización de procesos mediante inteligencia artificial, la transformación digital en las empresas industriales y el análisis de datos masivos aplicado a la producción, las instituciones de educación superior deben incorporar nuevos modelos educativos y garantizar la pertinencia de su oferta académica, alineándola con las demandas del sector productivo (Carbajal-Amaya, R. V. 2020).

El currículo universitario no es un elemento aislado, sino un sistema dinámico que se configura a partir de la interacción entre tres dimensiones esenciales: la sociedad, el conocimiento científico-tecnológico y la organización del trabajo académico. Cada una de estas dimensiones ejerce una influencia determinante en la estructura y funcionamiento del currículo. Por un lado, la sociedad plantea necesidades y demandas que orientan la formación profesional, los modos de trabajo y el desarrollo socioeconómico; por otro, el avance científico y tecnológico introduce nuevos problemas y campos de conocimiento que exigen actualización constante; finalmente, la organización académica define los modelos y procesos mediante los cuales se articula la enseñanza y el aprendizaje en la universidad. Comprender esta interrelación es clave para diseñar currículos pertinentes, flexibles y capaces de responder a los retos contemporáneos. (Carbajal-Amaya, R. V. 2020).

En este marco, la enseñanza de herramientas analíticas avanzadas constituye un eje esencial para fortalecer la formación de los ingenieros del siglo XXI. Los profesionales del área se enfrentan con frecuencia a fenómenos dinámicos complejos —como sistemas oscilatorios, fallos impredecibles, señales fisiológicas o comportamientos estructurales no lineales— que exceden los modelos lineales tradicionales. En consecuencia, es indispensable dotar a los estudiantes de metodologías modernas que les permitan comprender, modelar y analizar estas dinámicas.

El Análisis de Recurrencias (AR) representa una de estas herramientas innovadoras. Basado en la detección de patrones repetitivos en series temporales complejas, el AR permite visualizar y cuantificar la estructura dinámica de sistemas no lineales, incluso en presencia de ruido. A través de los diagramas de recurrencia y del Análisis Cuantitativo de Recurrencias (RQA, por sus siglas en inglés), los estudiantes pueden explorar transiciones de régimen, detectar fallos, evaluar estabilidad y caracterizar la evolución temporal de los sistemas.

En este trabajo se propone la implementación del AR como una unidad de aprendizaje teórico-práctico, en donde los alumnos trabajen con señales reales, aplicando técnicas de AR y RQA para analizar su comportamiento.

El análisis de recurrencias no solo es una técnica útil para la investigación avanzada, sino también una herramienta pedagógica que puede transformar la forma en que los futuros ingenieros interpretan la dinámica de los sistemas complejos. Su incorporación en el aula representa una apuesta por una educación más cercana a los retos reales de la ingeniería moderna.

Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como perspectiva de mejora para la calidad académica

JUSTIFICACIÓN

La transformación tecnológica asociada a la Industria 4.0 ha generado nuevas exigencias en la formación de ingenieros, particularmente en el ámbito del análisis de datos, la modelación de sistemas no lineales y la interpretación de fenómenos dinámicos complejos. Aunque los planes de estudio han incorporado contenidos relacionados con programación, inteligencia artificial y procesamiento de señales, aún existe una brecha entre el desarrollo de herramientas analíticas avanzadas y su integración sistemática en el currículo universitario.

El Análisis de Recurrencias (AR) constituye una herramienta consolidada en la investigación científica para el estudio de sistemas dinámicos complejos; sin embargo, su presencia en la educación formal en ingeniería es limitada. Esta situación revela una oportunidad de innovación curricular: incorporar metodologías analíticas que permitan a los estudiantes trabajar con datos reales, comprender comportamientos no lineales y fortalecer competencias en modelación matemática y pensamiento computacional.

Desde el punto de vista pedagógico, la educación en ingeniería demanda propuestas formativas que integren teoría, experimentación y programación en entornos de aprendizaje activo. La literatura sobre Educación 4.0 subraya la importancia de desarrollar competencias transversales como la resolución de problemas complejos, el análisis crítico y la capacidad de adaptación tecnológica. En este sentido, el AR ofrece un marco conceptual y computacional que articula matemáticas, física, análisis de señales y programación científica dentro de una experiencia formativa coherente.

La justificación de este estudio radica en la necesidad de diseñar propuestas curriculares fundamentadas teóricamente que permitan integrar herramientas analíticas contemporáneas en la formación de ingenieros. Más que evaluar empíricamente una intervención educativa específica, el presente trabajo busca establecer una base conceptual y metodológica para la incorporación del AR en programas de ingeniería, ofreciendo un modelo adaptable que pueda ser implementado y evaluado en contextos educativos reales.

Así, este artículo contribuye al campo de la educación en ingeniería al proponer un diseño curricular estructurado, alineado con tendencias internacionales de innovación educativa y con las demandas tecnológicas actuales, promoviendo una formación más integral, interdisciplinaria y orientada al análisis de sistemas complejos.

METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque exploratorio y de carácter documental, orientado a fundamentar la propuesta de incorporación del Análisis de Recurrencias (AR) como unidad de aprendizaje dentro de los programas de ingeniería. Este enfoque permitió examinar el estado actual de la educación en ingeniería, las tendencias internacionales en innovación curricular y las posibilidades pedagógicas del AR como herramienta formativa. El estudio se estructuró en tres etapas principales:

Diseño de investigación.

1. Revisión teórica y contextual.

Se realizó una revisión sistemática de literatura científica, normativa y pedagógica relacionada con la transformación curricular en educación en ingeniería, la Industria 4.0, las metodologías activas de aprendizaje y la enseñanza de herramientas analíticas avanzadas. Las fuentes consultadas incluyeron artículos indexados en bases como Scopus, Springer, ScienceDirect y Google Scholar, así como documentos institucionales de organismos de acreditación e innovación educativa. Los artículos fueron los siguientes: (Rey-Sánchez et al., 2023), (Gupta et al., 2023), (Tobar Litardo et al., 2023), (Qian et al., 2023), (Cano Ibarra et al., 2022), (Goldin et al., 2022), (Layco, E.P. 2022),



Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como perspectiva de mejora para la calidad académica

(Gonzales et al., 2022), (Srivani et al., 2022), (Velásquez Pérez et al., 2022), (Jam & Puteh, 2022), (Miranda et al., 2021), (Matsumoto-Royo et al., 2021), (López-Bernal et al., 2021), (Ramírez-Montoya, et al., 2021), (Sinche Crispín et al., 2021), (Ishak & Mansor, 2020), (Alda et al., 2020), (Himmetoglu et al., 2020), (Bujang et al., 2020), (Jamaludin et al., 2020).

2. Análisis del campo disciplinar.

En esta fase se exploraron las aplicaciones del Análisis de Recurrencias en distintos ámbitos de la ingeniería —mecánica, eléctrica, biomédica y de control— con el fin de identificar su potencial formativo y su pertinencia curricular. Se recopiló y clasificó casos de aplicación del AR en la investigación y la práctica profesional, analizando su valor didáctico y su vinculación con competencias de modelado, análisis de datos y resolución de problemas complejos. Los artículos fueron los siguientes: (Eckmann et al., 1987), (Marwan, 2008), (Marwan et al., 2007), (Webber & Marwan, 2015), (Pánis et al., 2023), (Rysak et al., 2023), (Marwan & Webber, 2014), (Zou et al., 2008), (Braun et al., 2022), (Hirata & Aihara, 2011), (Suresha et al., 2016), (Schinkel et al., 2008), (Sytá et al., 2012), (Kecik et al., 2022), (García et al., 2013), (Baghdadi et al., 2021), (Furman et al., 2023), (Frilot et al., 2015), (Frolov et al., 2023), (Badarin et al., 2024), (Calderón-Juárez et al., 2023), (Calderón-Juárez et al., 2023b), (López Pérez et al., 2023), (Kędra, 2023), (Li et al., 2008), (Rivas-Cisneros, 2023), (Rivas-Cisneros, D.E y Rivas-Cisneros, A.E., 2025) y (Rivas Cisneros, D., Díaz Romero, D. & Alcorta García, E. 2025).

3. Propuesta de integración curricular.

A partir de los hallazgos anteriores, se elaboró una propuesta conceptual de implementación del AR como unidad de aprendizaje. Esta propuesta contempla su posible inserción en asignaturas existentes (Sistemas Dinámicos, Procesamiento de Señales, Análisis de Datos) o como módulo transversal en programas de ingeniería. Se diseñó un esquema preliminar de objetivos de aprendizaje, contenidos temáticos, estrategias didácticas y evaluación por competencias.

Técnicas de análisis.

El análisis de la información se realizó mediante una triangulación teórica entre tres dimensiones:

- (a) Las tendencias globales en educación en ingeniería,
- (b) Las exigencias tecnológicas de la Industria 4.0, y
- (c) Las potencialidades del AR como herramienta formativa y de investigación aplicada.

Esta triangulación permitió sustentar la pertinencia de la propuesta y delinear los criterios pedagógicos y técnicos para su implementación.

En conjunto, esta metodología permitió no solo contextualizar la necesidad de incorporar el Análisis de Recurrencias en la educación en ingeniería, sino también fundamentar su valor didáctico y estratégico como respuesta a las demandas de una formación científica más dinámica, interdisciplinaria y orientada al análisis de sistemas complejos.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir del análisis documental y de la identificación del potencial educativo del Análisis de Recurrencias, se diseñó una propuesta preliminar de unidad de aprendizaje orientada a su incorporación en los programas de ingeniería. El propósito de este plan de curso es ofrecer una estructura formativa clara, organizada y pertinente que permita a los estudiantes desarrollar competencias en el análisis de sistemas dinámicos mediante técnicas de recurrencia, tanto desde su fundamento teórico como desde su aplicación computacional y profesional. Esta propuesta

Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica

curricular busca servir como modelo de referencia para su futura implementación, adaptación o evaluación en contextos reales de enseñanza universitaria.

El plan propuesto es el siguiente:

Asignatura: Análisis de recurrencia en sistemas dinámicos.

Nivel: Ingeniería (7 u 8 semestre).

Modalidad: Teórica–Práctica (clase + laboratorio de cómputo).

Horas por semana: 4 horas (2 horas de teoría + 2 horas de práctica).

Duración: 16 semanas.

Requisitos previos:

- Ecuaciones diferenciales.
- Álgebra lineal.
- Programación (Python o Matlab).
- Introducción a los sistemas dinámicos.

Objetivo general:

Formar al estudiante en el uso de técnicas de recurrencia para el análisis de sistemas dinámicos, proporcionando bases teóricas, habilidades computacionales y aplicaciones en ingeniería y ciencias exactas.

Competencias a desarrollar:

- Comprender el concepto de recurrencia en sistemas dinámicos periódicos, cuasi periódicos y caóticos.
- Construir y analizar diagramas de recurrencia (RP).
- Aplicar técnicas de cuantificación de recurrencias (RQA), incluyendo porcentaje de recurrencia, porcentaje de determinismo, entropía de Shannon y trapping time.
- Implementar técnicas de reconstrucción de fase mediante el teorema de Takens.
- Programar y ejecutar algoritmos de análisis de recurrencia en Python o Matlab.
- Analizar señales reales provenientes de sistemas mecánicos, eléctricos, biomédicos o climáticos.
- Elaborar reportes técnicos y artículos cortos con estructura académica.

Temario

Unidad 1: Sistemas Dinámicos (Semana 1-2).

- Sistemas dinámicos periódicos.
- Sistemas dinámicos cuasi periódicos.
- Sistemas dinámicos caóticos.
- Espacio de fase y atractores.
- Ejemplo: Péndulo forzado, Sistema de Lorenz, Sistema de Rössler.

Unidad 2: Concepto de recurrencia (Semana 3-4).

- Teorema de recurrencia de Poincaré.
- Definición formal de Recurrencia.
- Simetría y periodicidad de trayectorias.
- Ejercicios computacionales: Simulación y visualización en Python/Matlab.

Unidad 3: Diagrama de recurrencias (RP) (Semana 5-6).

Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica

- Construcción de matrices de recurrencias.
- Elección de parámetros: Dimensión de embebimiento, retardo y umbral de cercanía.
- Visualización y patrones en graficas de recurrencias.
- Ejercicios computacionales: Graficas de recurrencias de sistema periódico, cuasi-periódico, caótico.

Unidad 4: Cuantificación de recurrencias (RQA) (Semana 7-9).

- Medidas básicas: Recurrencias (Porcentaje de REC), determinismo (Porcentaje de DET), entropía de Shannon, trapping time.
- Interpretación física e ingenieril de medidas básicas de recurrencia.
- Ejercicios prácticos con librerías de RQA en Python.
- Proyecto intermedio: Análisis de medidas de recurrencia entre un sistema periódico, cuasi-periódico y caótico.

Unidad 5: Aplicaciones en ingeniería y ciencia (Semana 10-13).

- Análisis de vibraciones mecánicas.
- Análisis de señales eléctricas.
- Análisis de señales fisiológicas (ECG, EEG).
- Aplicación en el análisis de ciencias de datos.

Unidad 6: Proyecto final (Semana 14-16).

- Desarrollo de un proyecto aplicado en equipo (Ejemplo: Diagnostico de fallas, análisis de señales reales, estudio de atractores caóticos).
- Presentación oral y entrega de articulo técnico corto.

A continuación, exponemos algunas ventajas aplicaciones y ventajas del uso del análisis de recurrencias en la ingeniería.

Aplicaciones en ingeniería.

El AR posee un amplio rango de aplicaciones en la ingeniería moderna, entre ellas:

- Análisis de vibraciones mecánicas no lineales.
- Oscilaciones en señales eléctricas y circuitos.
- Detección de fallos y monitoreo estructural.
- Procesamiento de señales fisiológicas en biomecánica e ingeniería biomédica.
- Evaluación de estabilidad en sistemas de control no lineales.
- Diagnóstico temprano de fallas en maquinaria industrial.

Ventajas educativas.

La integración del AR en la formación de ingenieros ofrece múltiples beneficios pedagógicos:

- Introduce a los estudiantes en el análisis de datos reales mediante métodos contemporáneos.
- Fortalece el pensamiento computacional, el razonamiento crítico y la interpretación de resultados.
- Estimula el uso de herramientas tecnológicas como Python, Matlab o R.
- Fomenta el trabajo interdisciplinario y la investigación aplicada.

Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica

Tabla 1. Evaluación sugerida (dependerá de cada escuela y carrera)

N°	Evaluación	Valor
1.	Tareas y ejercicios	20%
2.	Proyecto intermedio	20%
3.	Proyecto final	30%
4.	Exámenes	30%
	Total	100%

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los resultados de este estudio indican que el análisis de recurrencias constituye una herramienta didáctica con alto potencial para fortalecer la formación en ingeniería, especialmente en un contexto de transformación curricular orientado por la Industria 4.0. La revisión sistemática mostró que, aunque esta metodología es ampliamente utilizada en física, ciencias de la complejidad y análisis de sistemas dinámicos, su adopción en programas de ingeniería aún es limitada. Esta brecha abre una oportunidad significativa para incorporar enfoques analíticos avanzados que promuevan el pensamiento sistémico, la modelación y la interpretación crítica de datos complejos.

La propuesta de curso desarrollada en este trabajo aporta una ruta concreta para integrar formalmente el análisis de recurrencias en la educación superior. Los contenidos, actividades y criterios de evaluación se alinean con competencias clave identificadas en la literatura educativa y normativa, como el razonamiento matemático, la capacidad de abstracción, el análisis de sistemas y la resolución de problemas. Además, el enfoque didáctico basado en metodologías activas y aprendizaje por proyectos favorece la autonomía del estudiante y la conexión entre teoría y práctica, elementos indispensables en la innovación curricular contemporánea.

En la discusión metodológica, los hallazgos revelan que el análisis de recurrencias facilita la comprensión de fenómenos dinámicos no lineales de una manera visual e intuitiva. Esto permite que estudiantes sin un trasfondo profundo en sistemas caóticos puedan aproximarse a conceptos avanzados mediante representaciones gráficas, lo cual reduce la carga cognitiva inicial y aumenta la accesibilidad del tema. Sin embargo, también se identificaron desafíos: es necesario fortalecer la formación docente en esta técnica y desarrollar materiales didácticos estandarizados que faciliten su adopción.

En conclusión, este estudio sostiene que el análisis de recurrencias puede funcionar como una estrategia formativa innovadora y transversal, capaz de integrar matemática aplicada, física, computación y análisis de datos en un solo marco conceptual. Su incorporación curricular no solo amplía las competencias analíticas del estudiantado, sino que también contribuye a preparar perfiles profesionales más alineados con las demandas tecnológicas actuales. Se recomienda continuar con estudios empíricos que evalúen el impacto de esta propuesta en contextos educativos reales y que desarrollen recursos pedagógicos avanzados para su implementación.



**Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa
como perspectiva de mejora para la calidad académica**

REFERENCIAS

- Ruay Garcés, R., González Bravo, P., & Plaza Taucare, E. (2016). ¿Cómo abordar la renovación curricular en la educación superior? *Alteridad. Revista de Educación*, 11(2), 157–170. <https://www.redalyc.org/pdf/4677/467749196002.pdf>
- Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas (CRUCH) (2012). *Innovación Curricular en las Universidades del Consejo de Rectores. Reflexiones y procesos en las Universidades del Consejo de Rectores Prácticas Internacionales*. ISBN: 978-956-7581-03-0.
- Arriaga Cárdenas, O. G., & Lara Magaña, P. C. (2023). La innovación en la educación superior y sus retos a partir del COVID-19. *Revista Educación*, 47(1). <https://doi.org/10.15517/revedu.v47i1.51979>
- Garcés, G. y Peña, C. (2020). Ajustar la Educación en Ingeniería a la Industria 4.0: Una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio. *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*. <https://doi.org/10.21703/rexe.20201940garces7>
- Carbajal-Amaya, R. V. (2020). La Universidad del futuro y la Revolución 4.0. Hacia una Universidad innovadora. Análisis prospectivo. *Revista Electrónica Calidad En La Educación Superior*, 11(2), 15–26. <https://doi.org/10.22458/caes.v11i2.3321>
- Rey-Sánchez, S. P., Vergara-Calderón, R. S., Rodríguez-Barboza, J. R., Pablo-Huamani, R. (2023). Educación 4.0 en estudiantes universitarios peruanos en situación postpandemia: Education 4.0 in Peruvian university students in post-pandemic situation. *Scientific Research Journal CIDI*, 3 (5), 1-22. <https://doi.org/10.53942/srjci.v3i5.110>
- Gupta, A., Sawhney, S., Nanda, A., Shabaz, M., Ofori, I. (2023). Transforming Learning to Online Education 4.0 during COVID-19: Stakeholder Perception, Attitude, and Experiences in Higher Education Institutions at a Tier-III City in India. *Education Research International*, 2023 (1), 3217552. <https://doi.org/10.1155/2023/3217552>
- Tobar Litardo, J. E., Rodríguez Wong, C. A., Garcés Suárez, E. F. (2023). La formación de los docentes para la enseñanza de la industria 4.0 en la educación superior. *RECIAMUC*, 7 (2), 180-194. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.\(2\).abril.2023.180-194](https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.180-194)
- Qian, Y., Vaddiraju, S., Khan, F. (2023). Safety education 4.0– A critical review and a response to the process industry 4.0 need in chemical engineering curriculum. *Safety Science*, 161, 106069. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106069>
- Cano Ibarra, S. T., Galván Morales, P., Briseño Canchola, S., Plascencia Cano, M. A. (2022). Probabilidad y Estadística Basada en Retos: Enfoque Educativo STEM y Educación 4.0 (Challenge-Based Probability And Statistics: Stem Educational Approach And Education 4.0). *Pistas Educativas*, 43 (141). <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/2710/2166>
- Goldin, T., Rauch, E., Pacher, C., Woschank, M. (2022). Reference architecture for an integrated and synergetic use of digital tools in education 4.0. *Procedia Computer Science*, 200, 407-417. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.239>
- Layco, E. P. (2022). Mathematics Education 4.0: Teachers Competence and Skills Readiness in Facing the Impact of Industry 4.0 on Education. *Journal of Positive School Psychology*, 6 (2), 1233-1259. <https://www.journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/1642>



**Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa
como perspectiva de mejora para la calidad académica**

- Gonzales, G., Costan, F., Suladay, D., Gonzales, R., Enriquez, L., Costan, E., Atibing, N. M., Aro, J. L., Evangelista, S. S., Maturan, F., Selerio, E., Ocampo, L. (2022). Fermatean fuzzy DEMATEL and MMDE algorithm for modelling the barriers of implementing education 4.0: Insights from the Philippines. *Applied Sciences*, 12 (2), 689. <https://doi.org/10.3390/app12020689>
- Srivani, V., Hariharasudan, A., Pandeewari, D. (2022). English language learning using education 4.0 in Karimnagar, India. *World Journal of English Language*, 12 (2), 325. <https://doi.org/10.5430/wjel.v12n2p325>
- Velásquez Pérez, T., Flórez Villamizar, L., Castro Silva, H. F. (2022). Pedagogías emergentes & educación 4.0: hacia un modelo de enseñanza holístico. *Revista Boletín Redipe*, 11 (1), 551-564. <https://doi.org/10.36260/rbr.v11i1.1662>
- Jam, N. A. M., Puteh, S. (2022). Exploring the teaching and learning indicators towards education 4.0 in MTUN, Malaysia. *International Journal of Information and Education Technology*, 12 (2), 179-184. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.2.1602>
- Miranda, J., Navarrete, C., Noguez, J., Molina-Espinosa, J., Ramírez-Montoya, M., Navarro-Tuch, S. A., Bustamante-Bello, M., Rosas-Fernández, J., Molina, A. (2021). The core components of education 4.0 in higher education: Three case studies in engineering education. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 1- 13. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107278>
- Matsumoto-Royo, K., Ramírez-Montoya, M. S., Conget, P. (2021). Opportunities to develop lifelong learning tendencies in practice-based teacher education: Getting ready for education 4.0. *Future Internet*, 13 (11), 292. <https://doi.org/10.3390/fi13110292>
- López-Bernal, D., Balderas, D., Ponce, P., Molina, A. (2021). Education 4.0: Teaching the Basics of KNN, LDA and Simple Perceptron Algorithms for Binary Classification Problems. *Future Internet*, 13 (8), 193. <https://doi.org/10.3390/fi13080193>
- Ramírez-Montoya, M. S., Loaiza-Aguirre, M. I., Zúñiga-Ojeda, A., Portuguez-Castro, M. (2021). Characterization of the Teaching Profile within the Framework of Education 4.0. *Future Internet*, 13 (4), 91. <https://doi.org/10.3390/fi13040091>
- Sinche Crispín, F. V., Gordillo Flores, R. E., Baldeón Tovar, M. T., Medina Pelaiza, L. E., Armada Pacheco, J. (2021). El reto de la Educación 4.0 a nivel universitario de cara a la emergencia por Covid-19. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 61 (4), 717-724. <https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.614.020>
- Ishak, R., Mansor, M. (2020). The relationship between knowledge management and organizational learning with academic staff readiness for education 4.0. *Eurasian Journal of Educational Research*, 20 (85), 169- 184. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejer/issue/52308/685555>
- Alda, R., Boholano, H., Dayagbil, F. (2020). Teacher Education Institutions in the Philippines towards Education 4.0. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 19 (8), 137-154. <https://doi.org/10.26803/ijlter.19.8.8>
- Himmetoglu, B., Aydog, D., Bayrak, C. (2020). Education 4.0: Defining the teacher, the student, and the school manager aspects of the revolution. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 21(Special Issue|ODL), 12-28. <https://doi.org/10.17718/tojde.770896>



**Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa
como perspectiva de mejora para la calidad académica**

- Bujang, S. D. A., Selamat, A., Krejcar, O., Maresova, P., Nguyen, N. T. (2020). Digital Learning Demand for Future Education 4.0—Case Studies at Malaysia Education Institutions. *Informatics*, 7 (2), 13. <https://doi.org/10.3390/informatics7020013>
- Jamaludin, R., McKay, E., Ledger, S. (2020). Are we ready for Education 4.0 within ASEAN higher education institutions? Thriving for knowledge, industry and humanity in a dynamic higher education ecosystem?. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 12 (5), 1161-1173. <https://doi.org/10.1108/JARHE-06-2019-0144>
- Eckmann, J.-P., Kamphorst, S. O., & Ruelle, D. (1987). Recurrence plots of dynamical systems. *Europhysics Letters*, 4(9), 973–977. <https://doi.org/10.1209/0295-5075/4/9/004>
- Marwan, N. (2008). A historical review of recurrence plots. *European Physical Journal Special Topics*, 164, 3–12. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2008-00829-1>
- Marwan, N., Romano, M. C., Thiel, M., & Kurths, J. (2007). Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics Reports*, 438(5), 237–329. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2006.11.001>
- Webber, C. L., Jr., & Marwan, N. (Eds.). (2015). *Recurrence quantification analysis: Theory and best practices*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07155-8>
- Pánis, R., Adámek, K., & Marwan, N. (2023). Averaged recurrence quantification analysis. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 47–56. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00686-4>
- Rysak, A., Sedlmayr, M., & Gregorczyk, M. (2023). Revealing fractionality in the Rössler system by recurrence quantification analysis. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 83–98. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00740-1>
- Marwan, N., & Webber, C. L., Jr. (2014). Mathematical and computational foundations of recurrence quantifications. In C. L. Webber Jr. & N. Marwan (Eds.), *Recurrence quantification analysis: Theory and best practices* (pp. 3–43). Springer.
- Zou, Y., Thiel, M., Romano, M. C., Read, P., & Kurths, J. (2008). Recurrence analysis of quasiperiodicity in experimental fluid data. *European Physical Journal Special Topics*, 164, 23–33. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2008-00831-7>
- Braun, T., Kraemer, K. H., & Marwan, N. (2022). Recurrence flow measure of nonlinear dependence. *European Physical Journal Special Topics*, 232. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00687-3>
- Hirata, Y., & Aihara, K. (2011). Erratum: Devaney's chaos on recurrence plots. *Physical Review E*, 83.
- Suresha, S., Sujith, R., Emerson, B., & Liewen, T. (2016). Nonlinear dynamics and intermittency in a turbulent reacting wake with density ratio as bifurcation parameter. *Physical Review E*, 94, 042206. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.94.042206>
- Schinkel, S., Dimigen, O., & Marwan, N. (2008). Selection of recurrence threshold for signal detection. *European Physical Journal Special Topics*, 164, 15–53. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2008-00833-5>



**Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa
como perspectiva de mejora para la calidad académica**

- Syta, A., Jonak, J., Jedliński, Ł., & Litak, G. (2012). Failure diagnosis of a gear box by recurrences. *Journal of Vibration and Acoustics*, 134. <https://doi.org/10.1115/1.4005846>
- Kecik, K., Smagala, A., & Liubyska, K. (2022). Ball bearing fault diagnosis using recurrence analysis. *Materials*, 15(17), 5940. <https://doi.org/10.3390/ma15175940>
- García, S., Romo, M., & Figueroa-Nazuno, J. (2013). Characterization of ground motions using recurrence plots. *Geofísica Internacional*, 52, 209–227. [https://doi.org/10.1016/S0016-7169\(13\)71473-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7169(13)71473-9)
- Baghdadi, G., Amiri, M., Falotico, E., & Laschi, C. (2021). Recurrence quantification analysis of EEG signals for tactile roughness discrimination. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 12, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s13042-020-01224-1>
- Furman, Ł., Duch, W., Minati, L., & Tołpa, K. (2023). Short-time Fourier transform and embedding method for recurrence quantification analysis of EEG time series. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 135–149. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00683-7>
- Frilot, C., Kim, P. Y., Carrubba, S., McCarty, D. E., Chesson, A. L., & Marino, A. A. (2015). Analysis of brain recurrence. In C. L. Webber Jr. & N. Marwan (Eds.), *Recurrence quantification analysis* (pp. 213–251). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07155-8_7
- Frolov, N., Pitsik, E., Maksimenko, V., et al. (2023). Applying recurrence time entropy to identify changes in event-related potentials. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 161–168. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00743-y>
- Badarin, A., Brusinskii, N., Grubov, V., et al. (2024). Recurrency time entropy of brain wave rhythms as an indicator of performance on visual search tasks in schoolchildren. *European Physical Journal Special Topics*. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-024-01348-3>
- Calderón-Juárez, M., González Gómez, G. H., Echeverría, J. C., et al. (2023). Recurrence quantitative analysis of heart rate variability during intradialytic hypotension. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 111–121. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00688-2>
- Calderón-Juárez, M., Gutiérrez Alvarado, D. A., González Gómez, G. H., et al. (2023). Recurrence plot analysis of heart rate variability in end-stage renal disease. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 99–110. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00682-8>
- López Pérez, D., Bokde, A. L. W., & Kerskens, C. M. (2023). Complexity analysis of heartbeat-related signals in brain MRI time series as a potential biomarker for ageing and cognitive performance. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 123–133. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00696-2>
- Kędra, M. (2023). Dam-induced changes in river flow dynamics revealed by RQA. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 209–215. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00689-1>
- Li, S., Zhao, Z., & Liu, F. (2008). Identifying spatial pattern of NDVI series dynamics using recurrence quantification analysis. *European Physical Journal Special Topics*, 164, 127–139. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2008-00839-y>



**Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa
como prospectiva de mejora para la calidad académica**

- Rivas-Cisneros, D. E. (2023). Use of recurrence plots to find mutations in deoxyribonucleic acid sequences. *Complex Systems*, 32(1), 89–100. <https://doi.org/10.25088/ComplexSystems.32.1.89>
- Rivas-Cisneros, D. E., y Rivas-Cisneros, A. E. (2025). Análisis de recurrencia: de señales de ingeniería a la mejora continua en procesos de manufactura. *Multidisciplinas de la Ingeniería*, 13(22), 120–128. <https://doi.org/10.29105/mdi.v13i22.343>
- Rivas Cisneros, D., Díaz Romero, D. & Alcorta García, E. (2025). Recurrence Analysis as a Tool for Identifying Incipient Faults. *Memorias del Congreso Nacional de Control Automático 2025*, pp. 50-55. <https://doi.org/10.58571/CNCA.AMCA.2025.009>



Integración de la alfabetización digital crítica en la educación en ingeniería: revisión integrativa con enfoque sociotécnico

Integration of Critical Digital Literacy in Engineering Education: An Integrative Review with a Sociotechnical Approach

Roxana Colunga Jaime ¹

Lizette Berenice González Martínez ²

RESUMEN

La transformación digital está redefiniendo las prácticas profesionales en el campo de la ingeniería, demandando no solo habilidades técnicas avanzadas, sino también capacidades críticas para el uso responsable de tecnologías emergentes. En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo sistematizar y analizar críticamente las principales líneas de debate en torno a la alfabetización digital crítica en la formación de ingenieros, a partir de una revisión integrativa de la literatura reciente.

Metodológicamente, se realizó un análisis temático de estudios académicos publicados entre 2015 y 2024, lo que permitió identificar patrones conceptuales y tendencias emergentes en el campo. Los resultados evidencian la predominancia de enfoques instrumentales en la formación digital, así como la limitada incorporación transversal de dimensiones éticas y reflexivas en los planes de estudio.

A partir de estos hallazgos, se propone una articulación conceptual que integra dimensiones técnicas, éticas y reflexivas como base de una formación sociotécnica crítica en ingeniería. Se concluye que la alfabetización digital crítica constituye un eje estratégico para fortalecer el perfil profesional del ingeniero contemporáneo y orientar su actuación responsable ante los desafíos tecnológicos actuales.

PALABRAS CLAVES: alfabetización digital crítica, educación en ingeniería, revisión integrativa, formación sociotécnica, competencia digital crítica.

Fecha de recepción: 02 de marzo, 2026.

Fecha de aceptación: 04 de abril, 2026.

¹ Profesora de Tiempo Completo de la Universidad Autónoma de Nuevo León, roxana.colungajim@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0003-6788-7785>

² Profesora de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Nuevo León, lizette.gonzalezmr@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-7306-8562>



Integración de la alfabetización digital crítica en la educación en ingeniería: revisión integrativa con enfoque sociotécnico

ABSTRACT

Digital transformation is redefining professional practices in the field of engineering, demanding not only advanced technical skills but also critical capacities for the responsible use of emerging technologies. In this context, the aim of this article is to systematize and critically analyze the main lines of debate surrounding critical digital literacy in engineering education, based on an integrative review of recent literature.

Methodologically, a thematic analysis of academic studies published between 2015 and 2024 was conducted, allowing for the identification of conceptual patterns and emerging trends in the field. The results reveal the predominance of instrumental approaches in digital training, as well as the limited cross-cutting incorporation of ethical and reflective dimensions in curricula.

Based on these findings, a conceptual framework is proposed that integrates technical, ethical, and reflective dimensions as the foundation for a critical sociotechnical approach to engineering education. It is concluded that critical digital literacy constitutes a strategic axis for strengthening the professional profile of contemporary engineers and guiding their responsible engagement with current technological challenges.

KEYWORDS: critical digital literacy, engineering education, integrative review, sociotechnical training, critical digital competence.

INTRODUCCIÓN

La transformación digital contemporánea, impulsada por el desarrollo acelerado de tecnologías como la inteligencia artificial, la automatización, el análisis masivo de datos y los sistemas ciberfísicos, ha redefinido los escenarios productivos y sociales en los que se desempeñan los profesionales de la ingeniería. Estos cambios, asociados a procesos de automatización y gobernanza tecnológica (World Economic Forum, 2020, 2023; Floridi, 2019), exigen una revisión profunda de los modelos formativos en educación superior. En este contexto, ya no resulta suficiente formar ingenieros capaces de operar tecnologías avanzadas, sino que se vuelve necesario desarrollar en ellos capacidades para comprender, evaluar y actuar frente a sus implicaciones éticas, sociales y económicas en entornos complejos.

Tradicionalmente, la formación en ingeniería ha privilegiado el desarrollo de competencias técnicas orientadas al dominio de herramientas, software especializados y procedimientos, configurando un modelo centrado en la operatividad tecnológica. Sin embargo, la creciente interrelación entre tecnología y sociedad demanda una ampliación epistemológica que incorpore el análisis crítico del impacto sociotécnico de dichas tecnologías. En este sentido, la alfabetización digital, concebida inicialmente como la capacidad de utilizar recursos tecnológicos (Bawden, 2008), ha evolucionado hacia enfoques más complejos que integran pensamiento crítico, análisis contextual y comprensión de entornos digitales dinámicos (Lankshear & Knobel, 2011; Buckingham, 2015; Area & Pessoa, 2012).

A nivel internacional, diversos marcos de competencia digital han subrayado la importancia de incorporar dimensiones éticas y reflexivas en la formación (Ferrari, 2013; Redecker, 2017; UNESCO, 2018). No obstante, en el campo específico de la ingeniería, estos avances teóricos no se han traducido de manera sistemática en propuestas formativas articuladas, evidenciándose una persistente fragmentación entre el desarrollo de habilidades técnicas y la formación crítica. En consecuencia, los aportes sobre alfabetización digital crítica en este ámbito permanecen dispersos,



Integración de la alfabetización digital crítica en la educación en ingeniería: revisión integrativa con enfoque sociotécnico

lo que dificulta la identificación de tendencias, tensiones y desafíos estructurales para su integración curricular.

Ante este vacío, resulta pertinente generar una sistematización analítica que permita comprender cómo se ha conceptualizado y abordado la alfabetización digital crítica en la formación en ingeniería, así como las implicaciones de su integración desde una perspectiva sociotécnica.

En este marco, el presente estudio tiene como objetivo sistematizar y analizar críticamente las principales líneas de debate en torno a la alfabetización digital crítica en la formación de ingenieros, a partir de una revisión integrativa de la literatura reciente. Asimismo, se propone una articulación conceptual derivada de los hallazgos, orientada a integrar dimensiones técnicas, éticas y reflexivas como base de una formación sociotécnica crítica.

De esta manera, el artículo busca contribuir al campo de la educación en ingeniería al ofrecer una lectura analítica del estado del conocimiento, así como una propuesta conceptual que permita avanzar en la integración transversal de la alfabetización digital crítica en los procesos formativos.

JUSTIFICACIÓN

La creciente complejidad de los entornos digitales en los sectores productivos, industriales y sociales ha reconfigurado las exigencias del ejercicio profesional en ingeniería, demandando no solo dominio técnico, sino también capacidades para comprender críticamente el impacto de las tecnologías en contextos socioculturales diversos. En este escenario, la educación superior enfrenta el desafío de formar profesionales capaces de integrar conocimiento técnico con juicio ético, análisis contextual y responsabilidad en la toma de decisiones tecnológicas.

Si bien la competencia digital ha sido incorporada progresivamente en los planes de estudio, su desarrollo se ha orientado predominantemente hacia habilidades operativas, lo que limita la formación de ingenieros con capacidad para evaluar información, identificar sesgos, anticipar riesgos y comprender las implicaciones sociales de la tecnología. En este sentido, la alfabetización digital crítica emerge como un componente estratégico para fortalecer la formación desde una perspectiva sociotécnica, donde técnica y ética se articulen de manera coherente.

A pesar del creciente interés académico en esta temática, la literatura evidencia una fragmentación en los enfoques teóricos y en las propuestas de integración curricular, particularmente en el ámbito de la educación en ingeniería. Los aportes existentes, aunque relevantes, se presentan de manera dispersa, lo que dificulta la identificación de tendencias analíticas, vacíos conceptuales y desafíos estructurales para su incorporación transversal en los procesos formativos.

En este contexto, la pertinencia del presente estudio radica en la necesidad de sistematizar y analizar críticamente el estado del conocimiento sobre la alfabetización digital crítica en la formación en ingeniería, con el fin de ofrecer una comprensión integrada que permita orientar futuras investigaciones y procesos de rediseño curricular.

Al articular los principales hallazgos de la literatura y proponer una lectura analítica de sus implicaciones, este trabajo contribuye al campo de la educación en ingeniería al fortalecer el sustento teórico para la incorporación de enfoques sociotécnicos y críticos en la formación profesional, así como al ofrecer insumos conceptuales para la toma de decisiones educativas en contextos de transformación digital.

METODOLOGÍA

Este documento se desarrolla bajo el enfoque de revisión integrativa, entendida como una estrategia metodológica que permite sintetizar investigaciones de naturaleza teórica y empírica con el propósito de construir una comprensión amplia, crítica y articulada del fenómeno analizado (Whittemore & Knafl, 2005; Torracó, 2005). Desde la perspectiva de clasificación de revisiones propuestas por Snyder (2019), la revisión integrativa resulta pertinente cuando se busca mapear conceptualmente un campo en consolidación y generar interpretaciones teóricas que articulen distintos enfoques y hallazgos.

A diferencia de otros tipos de revisión, la revisión integrativa posibilita la incorporación de diversas perspectivas conceptuales y diseños metodológicos, favoreciendo la identificación de convergencias, tensiones y vacíos en la literatura. Esta aproximación resulta especialmente pertinente en campos en proceso de consolidación, como la alfabetización digital crítica en la formación en ingeniería, donde coexisten marcos teóricos y enfoques disciplinares heterogéneos que requieren ser sistematizados e interpretados de manera comprensiva.

Para la identificación de la literatura, se consultaron bases de datos académicas de alto impacto y cobertura multidisciplinaria, incluyendo Scopus, Web of Science, ERIC y Google Scholar, con el propósito de asegurar la amplitud y pertinencia de los estudios recuperados. En este último caso, se aplicó un criterio de selección basado en la revisión de los primeros resultados relevantes, priorizando artículos publicados en revistas arbitradas o con respaldo académico verificable, con el fin de evitar la inclusión de literatura no científica.

La búsqueda se realizó durante el periodo de enero de 2024, considerando publicaciones comprendidas entre 2015 y 2024, con el fin de capturar el desarrollo reciente del campo de estudio.

Se utilizaron combinaciones booleanas de palabras clave en inglés, dada la predominancia de publicaciones en este idioma. Las principales cadenas de búsqueda empleadas fueron:

- “critical digital literacy” AND “engineering education”
- “digital competence” AND “higher education” AND “engineering”
- “digital literacy” AND “ethics” AND “technology”
- “sociotechnical education” AND “engineering students”

Estas combinaciones permitieron recuperar estudios enfocados tanto en la dimensión técnica como en los componentes críticos, éticos y sociotécnicos de la alfabetización digital.

La búsqueda inicial arrojó un total de 214 registros. Tras la eliminación de duplicados y la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 52 estudios para el análisis final. La pertinencia temática se definió a partir de la presencia explícita de al menos uno de los siguientes elementos: (a) análisis crítico del uso de tecnologías digitales, (b) incorporación de dimensiones éticas o reflexivas, y/o (c) abordaje del impacto sociotécnico en contextos de educación superior en ingeniería. Los estudios que no cumplieran con estos criterios fueron excluidos del análisis.

El proceso de selección se desarrolló en tres fases:

- 1) Revisión de títulos
- 2) Análisis de resúmenes
- 3) Lectura a texto completo

Integración de la alfabetización digital crítica en la educación en ingeniería: revisión integrativa con enfoque sociotécnico

Este procedimiento permitió asegurar la pertinencia temática y la coherencia conceptual de los estudios incluidos.

Con base en el proceso de selección descrito, los criterios de inclusión considerados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de inclusión para la selección de estudios

Nº	Criterio	Descripción
1	Tipo de publicación	Artículos científicos revisados por pares.
2	Nivel educativo	Investigaciones centradas en educación superior.
3	Contexto disciplinar	Estudios vinculados con programas de ingeniería o formación técnica.
4	Enfoque temático	Investigaciones centradas en las dimensiones éticas y críticas de las tecnologías digitales.

Se excluyeron documentos duplicados, publicaciones de carácter divulgativo no académico y estudios enfocados exclusivamente en entrenamiento técnico sin análisis conceptual o reflexivo.

El análisis de los estudios seleccionados se llevó a cabo mediante un proceso de codificación temática de carácter inductivo. La codificación se realizó de manera manual mediante matrices analíticas, lo que permitió organizar la información, identificar patrones conceptuales recurrentes y asegurar la trazabilidad entre los estudios revisados y las categorías emergentes. Este proceso se desarrolló en tres etapas:

1. Codificación abierta: identificación de conceptos recurrentes relacionados con alfabetización digital, ética, pensamiento crítico y formación en ingeniería.
2. Codificación axial: agrupación de los códigos en categorías intermedias a partir de similitudes conceptuales y relaciones semánticas.
3. Codificación selectiva: integración de las categorías en cuatro ejes analíticos centrales, los cuales estructuran la interpretación de los resultados.

Este procedimiento permitió transitar de unidades de significado individuales a una configuración conceptual más amplia, asegurando coherencia analítica y trazabilidad en la construcción de los ejes temáticos.

A partir del proceso de codificación y de la identificación de patrones recurrentes en el corpus analizado, se construyeron cuatro ejes analíticos que sintetizan las principales líneas de debate en torno a la alfabetización digital crítica en la formación en ingeniería (Tabla 2).

Tabla 2. Ejes analíticos derivados de la revisión de literatura sobre alfabetización digital crítica en la formación sociotécnica.

Nº	Eje analítico	Descripción sintética
1	Enfoque instrumental de la alfabetización digital	Concepción centrada en el dominio técnico de herramientas digitales, priorizando habilidades operativas por encima de la reflexión crítica sobre sus implicaciones sociales y éticas



Integración de la alfabetización digital crítica en la educación en ingeniería: revisión integrativa con enfoque sociotécnico

2	Dimensión ética y reflexiva	Enfoque que incorpora el análisis crítico del uso de tecnologías digitales, considerando sus implicaciones éticas, sociales y políticas en el ámbito profesional y académico.
3	Retos curriculares para la transversalidad	Conjunto de desafíos institucionales y pedagógicos que dificultan la integración transversal de la alfabetización digital crítica en los planes de estudio de ingeniería.
4	Integración hacia una formación sociotécnica integral	Propuesta formativa orientada a articular competencias técnicas y pensamiento crítico para el desarrollo de un perfil profesional capaz de comprender la interacción entre tecnología y sociedad.

Este procedimiento permitió transitar de unidades de significado individuales hacia una configuración conceptual integrada, garantizando coherencia analítica, consistencia interpretativa y trazabilidad en la construcción de los resultados.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis temático de los 52 estudios seleccionados permitió identificar cuatro ejes interpretativos que estructuran la comprensión actual de la alfabetización digital crítica en la formación en ingeniería. Los estudios revisados muestran que estos ejes no constituyen categorías aisladas, sino dimensiones interrelacionadas que evidencian tensiones conceptuales, vacíos formativos y tendencias emergentes en el campo. En este sentido, su identificación no responde a una clasificación meramente descriptiva, sino a un proceso analítico orientado a comprender la configuración sociotécnica de la formación en ingeniería en contextos de transformación digital.

En primer lugar, los estudios revisados evidencian la predominancia de un enfoque instrumental de la alfabetización digital, centrado en el dominio técnico de herramientas, software especializado y habilidades operativas. Diversas investigaciones coinciden en señalar que la formación en educación superior tiende a privilegiar el desarrollo de competencias tecnológicas operativas (López-Meneses et al., 2020), así como a concebir la competencia digital desde una perspectiva funcional que deja en segundo plano sus dimensiones críticas y reflexivas (Cabero-Almenara et al., 2021). A partir de este patrón, se interpreta que dicha reducción instrumental limita la comprensión del impacto sociotécnico de la tecnología y restringe la formación de profesionales con capacidad de análisis ético y contextual.

En segundo término, adquiere creciente relevancia la dimensión ética, crítica y reflexiva. Diversas investigaciones destacan la necesidad de incorporar en la formación contenidos relacionados con sesgos algorítmicos, inteligencia artificial, automatización y gobernanza de datos, subrayando la importancia de comprender las implicaciones filosóficas y sociales del diseño tecnológico (Floridi, 2019), así como de promover marcos de alfabetización digital que integren responsabilidad ética y pensamiento crítico en contextos educativos (UNESCO, 2018). Sin embargo, estos componentes suelen integrarse como asignaturas complementarias o contenidos aislados, sin consolidarse como un eje transversal del currículo.

El tercer eje pone de manifiesto los desafíos curriculares para la integración transversal. La estructura tradicional de los planes de estudio en ingeniería, organizada en áreas técnicas especializadas, dificulta la articulación sistemática de competencias críticas dentro de asignaturas de carácter instrumental. En el contexto latinoamericano, diversos autores han señalado que la digitalización educativa no puede reducirse a la mera incorporación de tecnologías en el aula, sino que exige transformaciones estructurales en los modelos formativos y en la concepción misma del currículo universitario (Rama, 2017; Tedesco, 2020). En esta misma línea, Crovi (2019) subraya que la ciudadanía digital en educación superior latinoamericana requiere superar enfoques instrumentales y avanzar hacia una comprensión crítica del ecosistema digital. Esta perspectiva



Integración de la alfabetización digital crítica en la educación en ingeniería: revisión integrativa con enfoque sociotécnico

refuerza la necesidad de superar enfoques tecnocentristas y avanzar hacia propuestas formativas que integren de manera transversal la reflexión ética y sociotécnica en la formación del ingeniero.

Finalmente, se identifica una línea en consolidación orientada hacia una formación sociotécnica crítica e integral. Desde esta perspectiva, la alfabetización digital crítica se concibe como un eje articulador entre competencia técnica, responsabilidad profesional y pensamiento reflexivo, superando la fragmentación tradicional entre saber instrumental y juicio ético. Este enfoque reconoce que el ejercicio contemporáneo de la ingeniería exige comprender la tecnología no solo en su dimensión operativa, sino como un fenómeno social, político y cultural que incide en la configuración de las relaciones humanas y productivas. En este sentido, la formación universitaria requiere orientarse hacia una concepción ecológica del conocimiento (Barnett, 2018), así como hacia el fortalecimiento del juicio profesional reflexivo que permita tomar decisiones responsables en contextos de alta complejidad tecnológica (Biesta, 2015).

En conjunto, estas tendencias permiten delimitar las principales categorías temáticas emergentes del análisis realizado.

Con el fin de hacer visible el corpus analizado y fortalecer la trazabilidad de los hallazgos, en la Tabla 3 se presentan estudios representativos organizados por eje analítico.

Tabla 3. Estudios representativos por eje analítico

Autor/año	Contexto	Tipo de estudio	Hallazgo principal	Eje analítico
Cabero-Almenara et al. (2021)	Educación superior	Revisión sistemática	Predominio de enfoque instrumental en competencia digital	Enfoque instrumental
López-Meneses et al. (2020)	Universidad	Revisión sistemática	Énfasis en habilidades operativas sobre pensamiento crítico	Enfoque instrumental
UNESCO (2018)	Contexto global	Marco teórico	Integración de dimensión ética y ciudadanía digital	Dimensión ética y reflexiva
Floridi (2019)	Filosofía de la información	Estudio teórico	Necesidad de responsabilidad ética en entornos digitales	Dimensión ética y reflexiva
Crovi (2019)	América Latina	Ensayo académico	Ciudadanía digital requiere enfoque crítico en educación superior	Retos curriculares
Rama (2017)	Educación superior	Análisis educativo	Limitaciones estructurales en la integración curricular	Retos curriculares
Tedesco (2020)	Educación	Análisis teórico	Transformación educativa más allá de la incorporación tecnológica	Retos curriculares
Selwyn (2016)	Educación digital	Estudio teórico	La tecnología debe comprenderse como fenómeno social	Formación sociotécnica
Barnett (2018)	Educación superior	Estudio teórico	Propuesta de enfoque ecológico del conocimiento	Formación sociotécnica
Biesta (2015)	Educación	Estudio teórico	Importancia del juicio profesional reflexivo	Formación sociotécnica



Integración de la alfabetización digital crítica en la educación en ingeniería: revisión integrativa con enfoque sociotécnico

Los estudios presentados evidencian la recurrencia de los ejes analíticos identificados, así como su articulación en torno a la necesidad de integrar de manera transversal dimensiones críticas, éticas y sociotécnicas en la formación en ingeniería.

Las categorías temáticas emergentes derivadas del análisis se sintetizan en la Tabla 4.

Tabla 4. Categorías temáticas emergentes en la revisión de literatura

Categoría	Descripción
Enfoque instrumental de la alfabetización digital	Dominio técnico de herramientas y plataformas digitales, con énfasis en habilidades operativas y eficiencia tecnológica.
Dimensión ética y crítica de la alfabetización digital	Reflexión sobre el impacto social de la tecnología, la responsabilidad profesional y los sesgos algorítmicos asociados a la economía digital y la vigilancia de datos (Floridi, 2019; Zuboff, 2019).
Desafíos de integración curricular	Limitaciones estructurales para incorporar la alfabetización digital crítica de manera transversal en los planes de estudio de ingeniería.
Formación sociotécnica crítica e integral	Articulación entre competencia técnica, ética profesional y pensamiento crítico en la formación del ingeniero (Castells, 2010; Morin, 1999; Selwyn, 2016).

A partir de la convergencia de los cuatro ejes analíticos identificados, se deriva una articulación conceptual que sintetiza los hallazgos del análisis y permite comprender la alfabetización digital crítica como un proceso formativo integrador, y no como un componente aislado del currículo. Esta propuesta se representa en la Figura 1, la cual condensa las dimensiones que configuran su carácter sociotécnico.

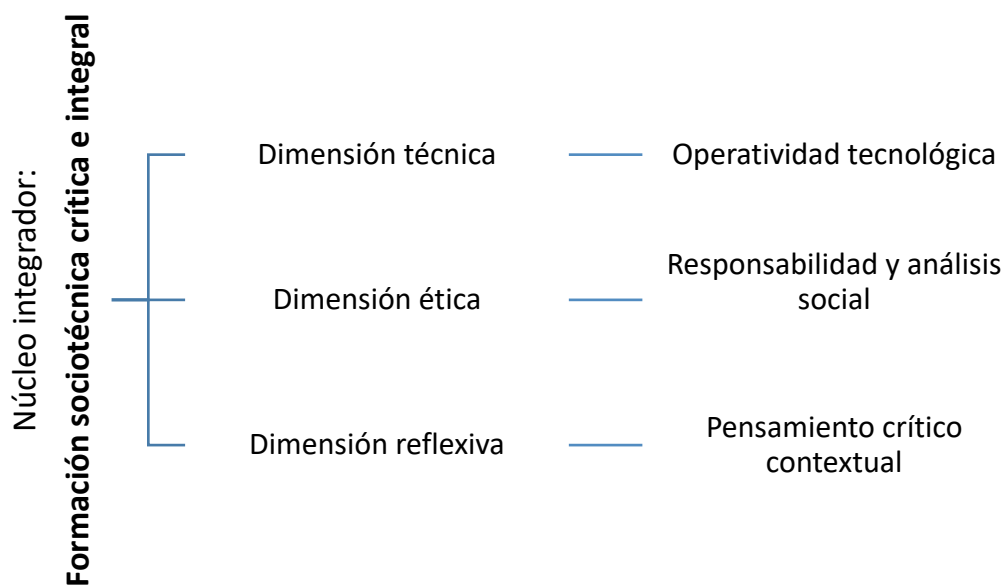


Figura 1. Modelo conceptual de articulación de la alfabetización digital crítica en la formación sociotécnica en ingeniería

Fuente: elaboración propia



Integración de la alfabetización digital crítica en la educación en ingeniería: revisión integrativa con enfoque sociotécnico

La Figura 1 sintetiza la articulación conceptual derivada del análisis, mostrando que la alfabetización digital crítica no sustituye la competencia técnica, sino que la amplía y resignifica mediante la incorporación de una perspectiva ética y una reflexión contextual sobre el uso de la tecnología. La interrelación de estas tres dimensiones configura un perfil profesional más integral, capaz de responder a los desafíos contemporáneos de la ingeniería desde una comprensión social y crítica de la tecnología.

En conjunto, los resultados de la revisión evidencian que la alfabetización digital crítica constituye un campo en expansión dentro de la educación superior; sin embargo, su incorporación sistemática en los programas de ingeniería aún enfrenta desafíos estructurales y curriculares. A partir de estos hallazgos, se reafirma la necesidad de avanzar hacia modelos formativos que integren de manera coherente la dimensión técnica, la responsabilidad ética y el pensamiento crítico como componentes inseparables del perfil profesional del ingeniero en contextos de transformación digital.

CONCLUSIONES

La revisión integrativa realizada permitió sistematizar y analizar críticamente los principales enfoques teóricos en torno a la alfabetización digital crítica en la formación de ingenieros, identificando tendencias predominantes, tensiones conceptuales y áreas de oportunidad en el contexto de la educación superior. Los resultados evidencian que, aunque la dimensión técnica de la competencia digital se encuentra ampliamente consolidada en los planes de estudio, persisten desafíos significativos en la incorporación transversal de dimensiones éticas y reflexivas que amplíen la comprensión del impacto sociotécnico de la tecnología.

En este sentido, el principal aporte del estudio radica en la articulación conceptual derivada del análisis, la cual permite comprender la alfabetización digital crítica como un proceso formativo integrador que vincula competencia técnica, responsabilidad profesional y pensamiento crítico. Esta integración se proyecta como un elemento clave para responder a los retos derivados de la automatización, la inteligencia artificial y la gobernanza digital, superando la fragmentación tradicional entre formación técnica y reflexión ética.

Asimismo, los hallazgos permiten afirmar que la alfabetización digital crítica no debe concebirse como un contenido complementario o aislado, sino como un eje estructurante del currículo en ingeniería. Su incorporación implica la implementación de estrategias de transversalidad curricular, el rediseño de prácticas pedagógicas y el fortalecimiento de la formación docente, así como la incorporación de esquemas de evaluación que valoren no solo el desempeño técnico, sino también el juicio ético y la capacidad de análisis contextual.

Estas implicaciones se alinean con los planteamientos internacionales que destacan la necesidad de repensar los fines de la educación en un contexto de transformación digital acelerada, orientando la formación profesional hacia la construcción de un nuevo contrato social basado en la responsabilidad, la sostenibilidad y la justicia tecnológica (UNESCO, 2021). Desde esta perspectiva, el desafío no es únicamente curricular, sino también epistemológico, al requerir una reconfiguración de las formas en que se concibe la relación entre conocimiento, tecnología y sociedad.

Finalmente, el estudio abre líneas de investigación orientadas a la validación empírica de modelos de integración curricular basados en alfabetización digital crítica, así como al análisis de su impacto en la formación de ingenieros en contextos específicos. En este sentido, futuras investigaciones podrán explorar experiencias de implementación que permitan operacionalizar este enfoque en distintos escenarios de educación superior, contribuyendo al desarrollo de propuestas formativas más integrales y contextualizadas.



REFERENCIAS

- Area, M., & Pessoa, T. (2012). De lo sólido a lo líquido: Las nuevas alfabetizaciones ante los cambios culturales de la Web 2.0. *Comunicar*, 38, 13–20. <https://doi.org/10.3916/C38-2012-02-01>
- Barnett, R. (2018). *The ecological university: A feasible utopia*. Routledge.
- Bawden, D. (2008). Origins and concepts of digital literacy. En C. Lankshear & M. Knobel (Eds.), *Digital literacies: Concepts, policies and practices* (pp. 17–32). Peter Lang.
- Biesta, G. (2015). What is education for? On good education, teacher judgement, and educational professionalism. *European Journal of Education*, 50(1), 75–87. <https://doi.org/10.1111/ejed.12109>
- Buckingham, D. (2015). Defining digital literacy—What do young people need to know about digital media? *Nordic Journal of Digital Literacy*, 10(Jubilee Issue), 21–35.
- Cabero-Almenara, J., Barroso-Osuna, J., & Llorente-Cejudo, C. (2021). Competencia digital docente en educación superior: Una revisión sistemática. *Revista de Educación a Distancia*, 21(67), 1–24. <https://doi.org/10.6018/red.476531>
- Castells, M. (2010). *The rise of the network society* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Crovi, D. (2019). Ciudadanía digital y educación superior en América Latina. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales*, 17(2), 45–60.
- Ferrari, A. (2013). DIGCOMP: A framework for developing and understanding digital competence in Europe. European Commission Joint Research Centre.
- Floridi, L. (2019). *The logic of information: A theory of philosophy as conceptual design*. Oxford University Press.
- Lankshear, C., & Knobel, M. (2011). *New literacies: Everyday practices and social learning* (3rd ed.). Open University Press.
- López-Meneses, E., Sirignano, F. M., & Vázquez-Cano, E. (2020). Digital competence in higher education: A systematic review. *Sustainability*, 12(12), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su12125006>
- Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. UNESCO.
- Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators (DigCompEdu)*. European Commission.
- Selwyn, N. (2016). *Education and technology: Key issues and debates*. Bloomsbury.
- UNESCO. (2018). *A global framework of reference on digital literacy skills*. UNESCO Institute for Statistics.
- UNESCO. (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. UNESCO.

Integración de la alfabetización digital crítica en la educación en ingeniería: revisión integrativa con enfoque sociotécnico

- World Economic Forum. (2020). The future of jobs report 2020. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020>
- World Economic Forum. (2023). The future of jobs report 2023. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2023>
- Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, 52(5), 546–553. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x>
- Torraco, R. J. (2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review*, 4(3), 356–367. <https://doi.org/10.1177/1534484305278283>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>



Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

Effect of diffusion and mechanical degradation of epoxy resin and a carbon fiber/epoxy resin composite under water exposure

Emilio Pérez Pacheco ¹

Alejandro Ortiz Fernández ²

Carlos Rolando Ríos Soberanis ³

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la absorción de agua destilada y de agua de mar en el comportamiento higroscópico y en las propiedades mecánicas de la resina epóxica y de un material compuesto en forma de lámina de fibra de carbón y resina epóxica. Para ello se determinaron experimentalmente las cinéticas de absorción, se ajustó el proceso difusivo del laminado al modelo de Fick y se analizó la variación de la resistencia a la tensión y del módulo elástico en función del contenido de humedad absorbida. Los resultados demostraron que la resina epóxica tuvo niveles más altos de absorción cercanos a 3% en agua destilada y 2.4-2.5% en agua de mar, mientras que el laminado tuvo absorciones de equilibrio de 0.29% y 0.26%, respectivamente. El modelo de Fick ajustado describió satisfactoriamente la difusión en el laminado. La resistencia y la rigidez se vieron reducidas progresivamente por la absorción de agua; la pérdida de resistencia a la tensión en el material compuesto laminado fue del 74% en agua destilada y del 47% en agua de mar. Se concluye que la matriz epóxica controla la degradación hidromecánica y estos resultados son relevantes para el diseño de componentes estructurales en ambientes acuosos y marinos.

PALABRAS CLAVES: resina epóxica; laminado de fibra de carbono; absorción de agua; difusión de fick; propiedades mecánicas; degradación hidromecánica

Fecha de recepción: 04 de marzo, 2026.

Fecha de aceptación: 14 de abril, 2026.

¹ Tecnológico Nacional de México/ITS de Calkiní. C.A. Bioprocesos, Av. Ah-Canul, Calkiní, Campeche, C.P. 24900, México. eperez@itescam.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0003-2242-1183>

² Tecnológico Nacional de México/ITS de Calkiní. C.A. Bioprocesos, Av. Ah-Canul, Calkiní, Campeche, C.P. 24900, México. aeortiz@itescam.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-9689-2124>

³ Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Chuburná de Hidalgo; CP 97205, Mérida, Yucatán, México, rolando@cicy.mx, <https://orcid.org/0000-0003-3915-7331>



Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of distilled water and seawater absorption on the hygroscopic behavior and mechanical properties of epoxy resin and a composite material in the form of a carbon fiber and epoxy resin sheet. To achieve this, the absorption kinetics were experimentally determined, the diffusive process of the laminate was adjusted to the Fick model, and the variation in tensile strength and elastic modulus as a function of the absorbed moisture content was analyzed. The results demonstrated that the epoxy resin had higher absorption levels close to 3% in distilled water and 2.4-2.5% in seawater, while the laminate had equilibrium absorptions of 0.29% and 0.26%, respectively. The fitted Fick model satisfactorily described the diffusion in the laminate. The strength and stiffness were progressively reduced by water absorption; the loss of tensile strength in the laminated composite material was 74% in distilled water and 47% in seawater. It is concluded that the epoxy matrix controls hygro-mechanical degradation and these results are relevant for the design of structural components in aqueous and marine environments.

KEYWORDS: epoxy resin; carbon fiber laminate; water absorption; fick diffusion; mechanical properties; hydromechanical degradation.

INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de carbón son uno de los materiales avanzados más importantes para aplicaciones estructurales de alto desempeño mecánico, gracias a su elevada relación resistencia-peso, a su buena rigidez específica, a su estabilidad dimensional y a la versatilidad de su procesamiento. Los sistemas basados en resina epóxica, entre otros, sobresalen por su amplia utilización en los sectores aeroespacial, marino, energético e infraestructura, donde la integridad mecánica y la durabilidad en condiciones de servicio son factores determinantes para el diseño y la seguridad operacional (Osa-uwagboe et al., 2024; Wang et al., 2025). Sin embargo, pese a sus ventajas, estos materiales no son inmunes a los efectos del medio ambiente. La exposición prolongada a medios acuosos, especialmente a agua de mar, promueve procesos de absorción de humedad, plastificación de la matriz, degradación interfacial y evolución de microdaño; fenómenos que pueden comprometer progresivamente sus propiedades físicas y mecánicas (Bone et al., 2022). Asimismo, el transporte de agua en materiales poliméricos de resina epoxica y de materiales compuestos de fibra de carbón y resina epóxica se han estudiado a menudo mediante el modelo de difusión de Fick. Este modelo describe adecuadamente la cinética de absorción en muchos sistemas durante las etapas iniciales e intermedias de envejecimiento. Sin embargo, la literatura reciente ha demostrado que la respuesta higroscópica y la magnitud del deterioro mecánico dependen de la matriz, de la arquitectura del refuerzo, la calidad de la interfase fibra-matriz, la presencia de vacíos o microgrietas y la composición química del medio de exposición (Bel Haj Frej et al., 2021). En especial, se ha observado que el agua destilada y el agua de mar pueden producir respuestas diferentes en la absorción de humedad y en la degradación estructural. Estos avances coadyuvan a la comprensión del comportamiento de la resina epóxica y de materiales compuestos laminados de fibras de carbón y resina epóxica frente a ambientes acuosos de distinta naturaleza. En particular, todavía hay que establecer claramente cómo difiere la cinética de absorción entre la matriz y el material compuesto, en qué medida el ajuste al modelo de Fick sigue siendo válido en ambos medios, y cómo la humedad absorbida se traduce en pérdidas de resistencia a la tensión y de módulo elástico en cada escala material.



Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

El presente trabajo estudia la absorción de agua en resina epóxica y en materiales compuestos laminados de fibra de carbono y resina epóxica sumergidos en agua destilada y en agua de mar, y sus efectos sobre las propiedades mecánicas. El trabajo se basa en la comparación entre los resultados experimentales de cinética de absorción, ajuste por la ley de Fick y la evolución de la resistencia a la tensión y del módulo elástico. De esta manera, se pretende aportar evidencia experimental para una mejor comprensión de los mecanismos hidromecánicos que rigen la degradación de estos materiales, así como fortalecer los criterios de selección, diseño y predicción de vida útil para aplicaciones estructurales en ambientes marinos y acuáticos (Osa-uwagboe et al., 2024; Wang et al., 2025). Por ello, el objetivo de la presente investigación es evaluar el efecto de la absorción de agua destilada y agua de mar sobre el comportamiento higroscópico y las propiedades mecánicas de la resina epóxica y de un material compuesto laminado de fibras de carbón y resina epóxica, mediante el análisis de la cinética de absorción, el ajuste del proceso difusivo al modelo de Fick y la determinación de la variación de sus propiedades mecánicas en función del contenido de humedad absorbida. Lo anterior con la finalidad de generar conocimiento para comprender los mecanismos de degradación hidromecánica de estos sistemas y fortalecer los criterios de diseño y durabilidad para su uso en ambientes marinos y acuáticos.

JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se justifica por la necesidad de conocer, sobre una base experimental, el efecto de la absorción de agua sobre la durabilidad y el desempeño mecánico de la resina epóxica y los laminados de fibra de carbón y resina epóxica cuando se exponen a ambientes acuáticos, especialmente bajo condiciones del medio marino. Estos materiales son muy utilizados en aplicaciones estructurales, de rehabilitación y de recubrimiento en sectores estratégicos como el energético, el naval y el de infraestructura que están sometidos de forma continua a humedad, agua de mar y variaciones ambientales que pueden comprometer su integridad estructural. En este sentido, el conocimiento de la cinética de absorción, el ajuste al modelo de difusión de Fick y la evolución de propiedades mecánicas, resulta esencial para establecer criterios más confiables de selección, diseño y vida útil en servicio. El estudio también permite diferenciar la respuesta de la matriz polimérica de la del material compuesto, aportando evidencia sobre el papel que desempeña la interfase fibra-matriz en los procesos de degradación. Por lo tanto, el presente trabajo contribuye al entendimiento de los mecanismos hidromecánicos que gobiernan el deterioro de materiales compuestos avanzados en ambientes marinos y acuáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Como matriz polimérica se empleó una resina epóxica basada en diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA), comercializada como Epon 828 (Shell Co.), utilizando metafenilendiamina (mPDA) como agente de entrecruzamiento. La formulación se preparó con una proporción de 14.5 partes de mPDA por cada 100 partes de resina. Asimismo, se utilizó un laminado unidireccional de polímero reforzado con fibra de carbono, fabricado por pultrusión y comercializado bajo la denominación Sika® CarboDur® 10S12. Este laminado tuvo un espesor nominal de 1.2 mm, un ancho de 10 cm, una densidad de 1.6 g/cm³ y un contenido de volumen de fibras de 68%.

Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

METODOLOGÍA

Preparación de material de resina epóxica

La resina y el agente de curado se pesaron por separado y se calentaron hasta 75 °C para favorecer la fusión completa del agente entrecruzante. Posteriormente, ambos componentes se mezclaron durante 7 min hasta obtener una mezcla homogénea, y se vertió en moldes de silicón previamente calentados. El curado se realizó durante 2 h a 75 °C, seguido de un poscurado de 2 h a 125 °C. A partir de este procedimiento se elaboraron especímenes para las pruebas de absorción y de caracterización mecánica.

Preparación de material compuesto

Las probetas del material compuesto se obtuvieron a partir de láminas comerciales unidireccionales cortadas con disco de diamante conforme a la norma ASTM D3039/D3039M. Las dimensiones de los especímenes fueron 250 mm de longitud, 15 mm de ancho y 1.2 mm de espesor. Para los ensayos mecánicos, los extremos de las probetas fueron acondicionados con “tabs” de aluminio adheridos con adhesivo epóxico comercial, con el propósito de mejorar la transferencia de carga y evitar fallas prematuras en la zona de sujeción.

Determinación de la fracción volumétrica de fibra

La fracción volumétrica de fibra del laminado se determinó mediante calcinación de acuerdo con la norma ASTM D2584-02. Para ello, muestras del laminado fueron sometidas a 550 °C durante 20 min en una mufla, eliminando la matriz polimérica y permitiendo cuantificar la masa remanente de fibra. A partir de la masa inicial, la masa residual y las densidades de los constituyentes, se calculó el contenido volumétrico de fibra del material compuesto.

Acondicionamiento hídrico

Antes del acondicionamiento en medios acuosos, todas las probetas se secaron en estufa para eliminar humedad residual. En el caso de la resina epóxica, el secado se llevó a cabo a 75 °C durante 72 h, mientras que en el laminado el tratamiento se realizó a la misma temperatura durante 24 h. Posteriormente, las muestras se sumergieron por separado en recipientes con agua destilada y agua de mar natural a una temperatura cercana a 25 °C. Los recipientes permanecieron cubiertos para minimizar la evaporación y las variaciones en la composición del medio. En la resina epóxica, los líquidos de inmersión se renovaron mensualmente, mientras que en el laminado la renovación del agua de mar se realizó cada tres días.

Monitoreo gravimétrico de la absorción de agua

La absorción de agua se determinó mediante seguimiento gravimétrico periódico de la ganancia en masa. Para ello, las probetas fueron retiradas del medio de inmersión en intervalos definidos, secadas superficialmente, pesadas en una balanza analítica y reintroducidas inmediatamente en el medio correspondiente. El contenido de agua absorbida se calculó a partir de la diferencia entre la masa en el tiempo y la masa seca inicial, expresada como porcentaje respecto a esta última. En el laminado, el monitoreo se extendió durante 170 días.

Ajuste al modelo de difusión de Fick

Para el material compuesto de fibra de carbón y resina epóxica, los datos experimentales de absorción de agua se analizaron en función de la raíz cuadrada del tiempo y se ajustaron al modelo de difusión de Fick mediante la ecuación 1. A partir de este ajuste se estimaron los parámetros de



Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

transporte, incluyendo el coeficiente de difusión y la absorción de equilibrio, con el fin de comparar el comportamiento del material en agua destilada y agua de mar.

$$M_t = M_\infty \frac{4}{h} \left(\frac{Dt}{\pi} \right)^{1/2} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde M_t denota la absorción de agua en el tiempo t , M_∞ denota la absorción de equilibrio, h denota el espesor de la probeta, D denota el coeficiente de difusión.

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se evaluaron mediante ensayos de tensión en una máquina universal Shimadzu AG-I. Para la resina epóxica se empleó una celda de carga de 5 kN y una velocidad de desplazamiento de 5 mm/min. Para el material compuesto, los ensayos se realizaron a una velocidad de 2 mm/min. En ambos casos, las probetas fueron extraídas del medio de inmersión, secadas superficialmente, pesadas y ensayadas de manera inmediata para evitar pérdidas de humedad antes de la prueba. Las dimensiones transversales de cada espécimen se determinaron a partir del promedio de tres mediciones previas al ensayo.

La resistencia a la tensión y el módulo elástico se determinaron para diferentes niveles de absorción de agua, tanto en la resina epóxica como en el laminado. Los resultados se analizaron en función del contenido de humedad absorbida, con el propósito de establecer la relación entre el transporte de agua, la plastificación de la matriz polimérica y la degradación mecánica del sistema.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Cinética de absorción en agua destilada y agua de mar

En la Figura 1a y 1b se muestran los resultados de la cinética de absorción en agua destilada y agua de mar en resina epóxica y en materiales compuestos laminados de fibra de carbón y resina epóxica. En ambos casos se comparó el comportamiento en agua destilada y agua de mar a temperatura ambiente. Estos resultados mostraron tasas de absorción altas en los primeros días de inmersión y posteriormente disminuyó hasta tender a la estabilización. En la resina epóxica, la ganancia de masa es claramente mayor en agua destilada que en agua de mar, mientras que en los materiales compuestos de fibra de carbón y resina epóxica las diferencias entre ambos medios fueron menores. Asimismo, se observó que el comportamiento correspondiente al agua destilada estuvo ligeramente por arriba de la del agua de mar en períodos de exposición más prolongados. La resina epóxica presentó un incremento de peso más pronunciado en agua destilada que en agua de mar. Asimismo, el material compuesto mostró diferencias muy pequeñas entre ambos medios, con una elevada velocidad de absorción al inicio de las etapas de exposición.

En la Figura 1a, se aprecia una absorción inicial pronunciada en ambos medios, atribuible a la rápida difusión de moléculas de agua hacia el volumen libre del polímero y a la ocupación progresiva de sitios polares de la red de la resina termofija. La curva en agua destilada alcanza valores cercanos al 3%, mientras que la curva en agua de mar se estabiliza alrededor de 2.4-2.5%. Este comportamiento observado indica que la salinidad reduce la cantidad total de agua absorbida. Asimismo, la resina epóxica presentó un comportamiento semejante en ambos ambientes, pero con mayor absorción en agua destilada. Además, se identificaron tres regiones en las cinéticas de absorción con diferentes tasas de variación del contenido de agua. La mayor absorción en agua destilada puede explicarse por el mayor gradiente de potencial químico entre el líquido externo y la matriz polimérica, así como por la ausencia de iones disueltos que, en medios salinos, reducen la

Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

actividad del agua y tienden a limitar la difusión efectiva hacia el interior del polímero. En sistemas epóxicos, esta absorción induce plastificación, disminución de la temperatura de transición vítrea y aumento de la movilidad de los segmentos de cadena, fenómenos que suelen preceder al deterioro mecánico.

En la Figura 1b, se muestra una rápida absorción en la etapa inicial seguida por una disminución progresiva. Sin embargo, la magnitud total absorbida es mucho menor que en la resina, con valores inferiores a 0.8%. Esta diferencia confirma que la absorción está dominada por la matriz epóxica y por la interfaz fibra-matriz, mientras que la contribución de la fibra de carbono es esencialmente despreciable por su carácter hidrofóbico. Además, la menor absorción del laminado respecto de la resina epóxica sugiere que la presencia del refuerzo reduce la fracción volumétrica disponible para el transporte de agua. Las muestras expuestas en agua de mar y agua destilada presentaron altas velocidades de absorción en los primeros días y las diferencias entre ambos medios no fueron significativas. Este comportamiento puede explicarse a que, en el material compuesto laminado, el transporte de agua no sólo depende del carácter higroscópico de la matriz, sino también de la geometría de difusión, de la restricción impuesta por las fibras y de la existencia de microvacíos o microfisuras generadas durante el procesamiento.

Los resultados muestran una relación jerárquica clara; la resina epóxica absorbe más agua y presenta una sensibilidad más marcada de acuerdo con el medio ambiente de exposición, mientras que en el material compuesto se exhibe una absorción total menor y una respuesta más amortiguada por efecto del refuerzo. Esta diferencia sugiere que el comportamiento higroscópico del material compuesto no puede extrapolarse directamente a partir de la matriz, aunque está gobernado por ella. Es decir, la fibra de carbono no elimina el problema de absorción de humedad, pero sí limita su magnitud y modifica la cinética del proceso.

Ghabezi y Harrison (2022) mostraron que en materiales compuestos de fibra de carbón y resina epóxica envejecidos en ambientes marinos, la absorción de humedad estuvo directamente ligada a cambios fisicoquímicos y a la degradación mecánica, con una participación determinante de la matriz y de la interfaz fibra-matriz. Aithal et al. (2023) estudiaron materiales compuestos cuasi-isótropos de fibra de carbón y resina epóxica y concluyeron que la humedad absorbida modifica progresivamente las propiedades mecánicas, especialmente cuando el envejecimiento se prolonga o se combina con condiciones ambientales más agresivas. Estas observaciones son similares con el comportamiento encontrado en esta investigación. Aun cuando en el material compuesto se absorbe menos agua que en la resina epóxica, la penetración de humedad es suficiente para activar mecanismos de degradación en la matriz y en la zona interfacial. Por otra parte, varios estudios recientes respaldan la mayor absorción observada en agua destilada frente al agua salina. Chakkour et al. (2024), al comparar envejecimiento higroscópico en agua destilada y agua de mar en materiales compuestos epóxicos reforzados, encontraron diferencias sistemáticas asociadas a la actividad del agua y a la influencia de las sales sobre la difusión. Xiong et al. (2024) también reportaron que la composición química del medio marino modifica la degradación de las resinas epóxicas, y que la concentración salina influye tanto en la absorción como en la evolución microestructural del polímero. Torabizadeh y Maleki (2024) observaron que la absorción de agua en resinas epóxicas produce cambios mecánicos medibles y que el medio de exposición controla la severidad de dichos cambios. Por ello, el hecho de que la resina epóxica muestre mayor absorción en agua destilada no contradice la idea de que el agua de mar pueda ser igualmente dañina. Un medio salino puede generar menor absorción total, pero inducir daño químico e interfacial más complejo debido a la presencia de iones y a sus interacciones con defectos preexistentes. Osa-uwagboe et al. (2024) subrayan que el desempeño de materiales poliméricos fibro-reforzados con fibras en ambiente marino depende del contenido de humedad, de la temperatura, la salinidad, el tiempo de exposición y la arquitectura del

Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

refuerzo. Choudhari et al. (2024) destacaron que la absorción de agua en materiales compuestos fibro-reforzados conlleva a plastificación de la matriz, reducción de la rigidez interfacial y disminución de las propiedades mecánicas, aunque la intensidad del daño depende de la naturaleza del sistema y de las condiciones ambientales de servicio. Asimismo, Idrisi et al. (2021) demostraron que el envejecimiento prolongado en agua de mar modifica de forma significativa el comportamiento mecánico del material compuesto polimérico reforzado, particularmente, cuando se incrementa la temperatura de exposición. La absorción inicial está regida por difusión hacia regiones accesibles del polímero; posteriormente, la desaceleración cinética muestra una aproximación al equilibrio; y, de manera simultánea, se desarrollan procesos de plastificación, hinchamiento, degradación interfacial y posible nucleación de microgrietas.

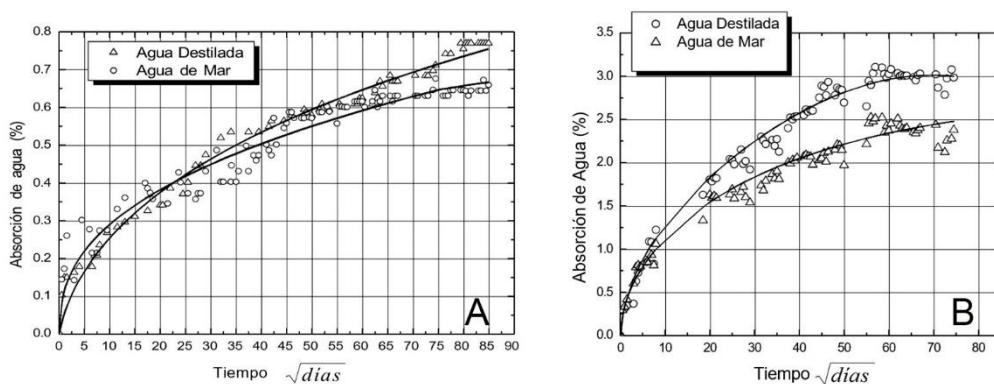


Figura 1. Variación de la ganancia de peso en función del tiempo para (A) la resina epóxica y (B) el material compuesto laminado de fibra de carbón/resina epóxica, en agua destilada y agua de mar.

Modelo de difusión de Fick

En la Figura 2a y en la Figura 2b se muestran los resultados del ajuste del proceso de absorción de agua del material compuesto de fibras de carbón y resina epóxica al modelo de difusión de Fick en agua destilada y agua de mar, respectivamente. Estos resultados exhiben una rápida absorción en las etapas iniciales, seguida por una disminución progresiva hasta alcanzar una región cercana al equilibrio. Asimismo, se observó que la absorción de equilibrio es ligeramente mayor en agua destilada que en agua de mar, y que la ley de Fick se ajusta adecuadamente a la tendencia de los datos experimentales.

En la Figura 2a, se observó un rápido incremento del contenido de agua durante las primeras etapas, que indica una elevada velocidad inicial de difusión. Posteriormente, la pendiente disminuyó y la absorción tendió a estabilizarse alrededor de un valor cercano a 0.29-0.30%. La aproximación entre los puntos experimentales y la curva ajustada indica que, en este medio, el comportamiento del material compuesto puede describirse mediante la segunda ley de Fick.

En la Figura 2b, se observó una etapa inicial de absorción acelerada y una fase posterior de desaceleración hasta alcanzar una etapa de estabilización. Sin embargo, la absorción de equilibrio es menor que en agua destilada, alrededor de un valor de 0.26-0.27%. La curva ajustada del modelo de Fick es adecuada a los datos experimentales. Este comportamiento probablemente se deba a la presencia de las sales en el medio que modifica la intensidad del transporte de agua hacia el interior



Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

del material compuesto, que disminuye la cantidad total absorbida en relación con el agua destilada. Esto sugiere un gradiente efectivo de actividad del agua menor en el medio salino y, por ende, una fuerza impulsora más baja para la penetración de las moléculas de agua. El análisis de ambas figuras permite concluir que el material presenta un comportamiento predominantemente que sigue la ley de Fick en los dos ambientes estudiados. La similitud entre la forma de las curvas experimentales y los ajustes teóricos sugiere que, dentro del intervalo de exposición considerado, no dominan procesos anómalos de transporte como relajación estructural intensa, degradación química acelerada o mecanismos duales de desorción. Sin embargo, se observó que el tipo de medio influye en la magnitud de la absorción y en los parámetros de transporte. El mayor nivel de absorción en agua destilada indica que el material compuesto presenta mayor afinidad efectiva por este medio que por el agua de mar. Este resultado es coherente con la naturaleza del sistema material compuesto de fibra de carbón y resina epóxica. La fibra de carbón no absorbe agua, de modo que el proceso está controlado por la resina epóxica y, en menor medida, por la región interfacial fibra-matriz y por defectos microscópicos como vacíos o microcanales de difusión.

La respuesta observada en esta investigación puede explicarse por la estructura polar de la resina epóxica. Las moléculas de agua penetran primero en el volumen libre de la red del polímero y posteriormente interactúan con grupos funcionales polares, generando plastificación local y una reducción de la rigidez molecular. En la etapa inicial, el gradiente de concentración entre el medio externo y el interior del material es máximo, razón por la cual la absorción ocurre con mayor rapidez. En la medida que aumenta el contenido de agua interna, dicho gradiente disminuye y el proceso disminuye hasta alcanzar el equilibrio. El hecho de que el agua de mar produzca una absorción ligeramente menor sugiere que la salinidad reduce la actividad del agua disponible para difundirse en la matriz polimérica. Este comportamiento es similar a los resultados recientes reportados para materiales compuestos de fibra de carbón y resina epóxica y para otros sistemas reforzados con fibras. Bone et al. (2022) reportaron que, en los materiales compuestos de fibra de carbono y matriz epóxica, la absorción de humedad tiende a estar directamente asociada con modificaciones en las propiedades mecánicas. También destacaron que, en muchos casos, el comportamiento cinético de dicha absorción puede modelarse de manera satisfactoria mediante las leyes de Fick durante las primeras y medianas etapas del envejecimiento. Wong et al. (2020) reportaron que la absorción de humedad en materiales compuestos de fibras de carbón y resina epóxica se ajusta bien a la ley de Fick y que la presencia de agua afecta significativamente la respuesta a la delaminación, aun con valores de humedad muy bajos.

Bel Haj Frej et al. (2021) compararon mecanismos de difusión y efectos del envejecimiento en materiales compuestos para aplicaciones marinas y observaron que, dependiendo del sistema polimérico y de la arquitectura del material, el agua destilada puede inducir cambios más notorios que el agua salina en términos de absorción total y variación de propiedades mecánicas. Asimismo, Hong (2021) estudió materiales compuestos de fibra de carbón y resina epóxica sometidos a envejecimiento higrotérmico por inmersión. En este trabajo se reportó que tanto el contenido absorbido como el coeficiente de difusión dependen del tipo de medio y de la temperatura, aunque la ley de Fick sigue siendo válida y describe de una manera aproximada el comportamiento de material compuesto. Massou et al. (2023) reportaron que la inmersión en agua de mar afecta el comportamiento mecánico y viscoelástico de laminados de fibra de carbón y resina epóxica, en valores bajos de humedad. La diferencia entre 0.29 % y 0.26 % puede parecer pequeña, pero incluso variaciones moderadas en el contenido de humedad pueden traducirse en cambios relevantes en plastificación de la matriz, resistencia interfacial y propiedades mecánicas a largo plazo. Bone et al. (2022) reportaron que la variación de propiedades mecánicas no depende únicamente de la cantidad absorbida, sino de cómo esa humedad se distribuye en la matriz y de la sensibilidad del sistema a la plastificación y al daño interfacial. Otro aspecto importante es la estabilidad observada. Ambas



Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

figuras muestran una etapa de estabilización relativamente bien definida. Esto sugiere que, para el intervalo evaluado, no hubo una degradación progresiva severa que generara una nueva capacidad de absorción a través de microdaño creciente. En sistemas donde aparecen microgrietas, lixiviación o relajaciones intensas, la curva de absorción suele desviarse de la forma clásica de Fick y presentar comportamientos bifásicos o no Fickianos. El hecho de que esto no se observe de manera marcada en las gráficas indica que el material compuesto laminado conserva una estructura suficientemente estable durante el ensayo. Sin embargo, esa estabilidad en la difusión no implica ausencia de deterioro mecánico. Zhang et al. (2025) mostraron que los materiales compuestos fibro-reforzados sometidos a condiciones higro-térmicas-salinas pueden mantener una cinética de absorción que se ajuste a la ley de Fick y, simultáneamente, experimentar degradación estructural significativa en el tiempo.

El material compuesto de fibra de carbón y resina epóxica presenta una absorción de agua compatible con la difusión Fick tanto en agua destilada como en agua de mar. La absorción inicial rápida en etapas iniciales y la posterior aproximación al equilibrio muestran un transporte controlado por la matriz epóxica. La diferencia entre ambos medios indica que la salinidad reduce ligeramente la cantidad total de agua absorbida y, probablemente, el coeficiente efectivo de difusión. La similitud entre los datos experimentales y el modelo teórico apoya el uso de la ley de Fick para la determinación de los parámetros de transporte en este sistema. También se confirma mediante comparación con la literatura científica que este comportamiento es similar al observado en otros materiales compuestos elaborados de fibra de carbón y resina epóxica sometidos a ambientes con agua destilada y marinos.

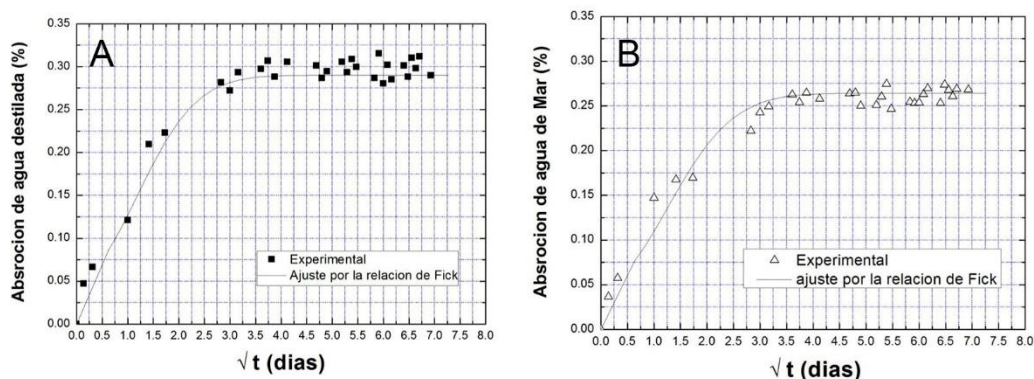


Figura 2. Ajuste del proceso de absorción de agua del laminado fibra de carbono/resina epóxica mediante el modelo de difusión de Fick en función de \sqrt{t} . (A) agua destilada y (B) agua de mar.

Propiedades Mecánicas

En la Figura 3a y en la Figura 3b se muestran los resultados de las propiedades mecánicas de la resina epóxica en función del contenido de agua absorbida, después de la inmersión en agua destilada y agua de mar. La Figura 3a presenta el comportamiento de la resistencia a la tensión, mientras que la Figura 3b muestra el comportamiento del módulo elástico. Estos resultados muestran que la absorción de agua produce una disminución progresiva del comportamiento mecánico de la resina epoxica, que se manifiesta por una disminución de la resistencia y de la rigidez. La tendencia



Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

observada es similar en ambos medios; la velocidad de degradación y en la magnitud de la pérdida en propiedades mecánicas son muy similares.

En la Figura 3a, la resistencia a la tensión parte de un valor cercano a 50 MPa y disminuye conforme aumenta la absorción de agua. Para las muestras expuestas en agua destilada, la disminución de la de resistencia presenta una caída abrupta en la región inicial, entre 0 y aproximadamente 0.4 % de absorción, seguida de una disminución más gradual entre 0.4 y 1.5%, y finalmente una nueva reducción acelerada a contenidos de humedad más altos, cercanos a 1.7-1.8%. Las muestras inmersas en agua de mar siguen una tendencia semejante. En valores de agua cercanos a 2 %, la resistencia desciende hasta valores alrededor de 27-31 MPa, lo que representa una reducción mecánica muy significativa respecto al valor inicial.

En la Figura 3b, el módulo elástico muestra una disminución menos abrupta que la resistencia a la tensión. El valor inicial del módulo de elasticidad tuvo un valor cercano a los 2600 MPa. Este valor disminuyó gradualmente alrededor de 2525-2545 MPa a contenidos de agua mayores. En ambos medios se observó un comportamiento similar. La pérdida de rigidez es menos abrupta que la pérdida de resistencia, lo que sugiere que la absorción de agua afecta primero la capacidad resistente del material antes que su respuesta elástica. Este comportamiento puede deberse a que el agua que se absorbe entra en la red polimérica a través del espacio libre y se une a grupos polares de la estructura epóxica. Este proceso favorece una mayor movilidad de las cadenas, reduce la temperatura de transición vítrea y debilita las interacciones intermoleculares responsables del comportamiento mecánico del material. Como resultado, la resistencia a la tensión presenta una disminución más significativa, debido a que la fractura depende del entrecruzamiento de la red del polímero. En contraste, el módulo elástico, vinculado a la rigidez inicial de la estructura, suele mostrar una degradación menos severa en las primeras fases del envejecimiento. Rudawska (2020) investigó el efecto del envejecimiento en agua desionizada, agua salina y agua de mar en adhesivos de resina epoxica. Encontró que la resistencia mecánica disminuyó debido a la absorción de humedad, mientras que los cambios en el módulo fueron menores. Idrisi et al. (2021) señalaron que la exposición prolongada en agua de mar en materiales compuestos epóxicos produce una pérdida de la resistencia a la tensión, de la deformación y del módulo de elasticidad, debido al hinchamiento de la resina epóxica y a la degradación de la red polimérica.

En ambos medios estudiados se observaron una degradación mecánica del mismo orden, aunque el agua de mar tiende a mostrar valores ligeramente menores. Esto puede deberse a que el agua destilada posee una mayor actividad química y, por ello, frecuentemente favorece una absorción ligeramente mayor; sin embargo, el agua de mar tiene sales e iones que pueden generar efectos adicionales sobre la microestructura y sobre la estabilidad del polímero. Esta dualidad ha sido reportada por Oğuz y Erkliğ (2022). Ellos compararon el envejecimiento en agua destilada y agua de mar materiales poliméricos de resina epóxica y concluyeron que ambos medios degradan las propiedades de sistemas epóxicos, aunque la intensidad de la degradación depende del equilibrio entre absorción total, plastificación y efectos químicos del entorno. Asimismo, Nan et al. (2023), reportó el envejecimiento de materiales compuestos reforzados expuestos a ambientes de agua de mar. Reportaron que la humedad absorbida plastifica la matriz, genera concentración de esfuerzos por hinchamiento y degradación de la estructura de la red polimérica y por ende disminución de la resistencia y rigidez. También, destacaron que no solamente se debe considerar el medio, sino que se debe tomar en cuenta la cantidad total de agua absorbida y la duración del tiempo de la exposición.

En estos resultados también se observaron tres regiones con diferentes tasas de variación cada una. En la primera región, la pérdida rápida de resistencia puede atribuirse a la ocupación del volumen

Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

libre y a la plastificación inicial de la resina. En la segunda, la disminución más lenta puede deberse a que parte de la red reticulada aún conserva su capacidad de transferencia de carga. Finalmente, la tercera región podría asociarse a una degradación más severa del entrecruzamiento, a microcavitación o a daño localizado en la estructura del polímero.

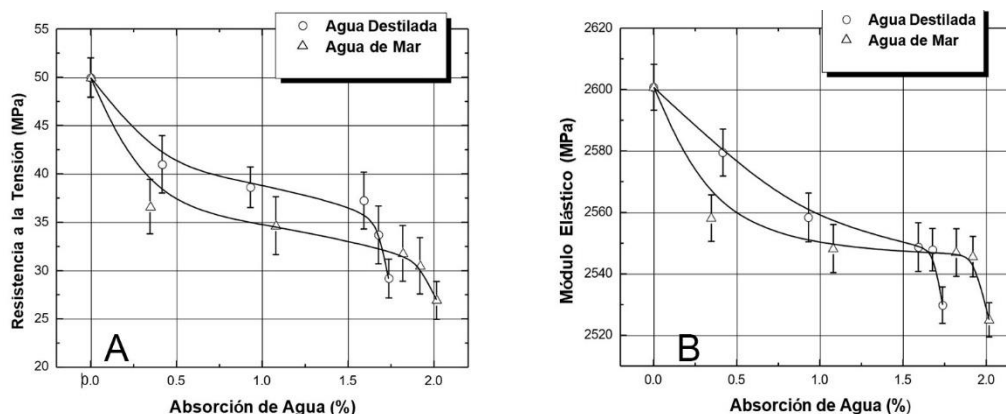


Figura 3. Efecto del contenido de agua absorbida sobre las propiedades mecánicas de la resina epóxica expuesta a dos ambientes higrotérmicos: (A) resistencia a la tensión y (B) módulo elástico.

En la Figura 4a se observa que la resistencia a la tensión del material compuesto disminuye de manera sistemática a medida que aumenta el contenido de agua absorbida. Sin embargo, la cinética de degradación no es igual en ambos medios. En las muestras inmersas en agua destilada, la pérdida de resistencia ocurre con una pendiente más pronunciada, especialmente a valores intermedios de humedad, hasta alcanzar una reducción total cercana al 74%. En contraste, las probetas expuestas a agua de mar muestran una degradación más gradual, con una pérdida final del orden del 47%. Este comportamiento sugiere que, aunque ambos ambientes inducen daño mecánico, el agua destilada ejerce un efecto más severo sobre la resistencia del laminado. Esto puede atribuirse a la mayor actividad del agua en el medio destilado, que favorece la difusión hacia el interior del material, así como su interacción con los grupos polares de la matriz epóxica. La penetración del agua promueve fenómenos de plastificación, hinchamiento y debilitamiento de la red polimérica, que con lleva a una disminución de la transferencia de carga entre matriz y refuerzo. Adicionalmente, el agua puede ocupar los espacios vacíos, defectos y microgrietas originados durante el procesamiento; esto genera concentraciones de esfuerzo que aceleran la iniciación y propagación del daño.

En agua de mar, la absorción también disminuye la resistencia, pero a una velocidad menor. Esto puede explicarse porque la presencia de sales reduce la actividad química del agua y, por tanto, limita parcialmente la cantidad de agua libre que difunde en la matriz. Sin embargo, ello no implica ausencia de daño. Los iones disueltos, principalmente Na^+ y Cl^- , pueden acompañar el proceso de ingreso y contribuir al deterioro de la interfase fibra-matriz. En consecuencia, el medio salino parece generar un efecto dual; por un lado, atenúa la absorción total respecto al agua destilada; por otro, mantiene un proceso continuo de degradación interfacial y microestructural. Por ello, la disminución observada en la resistencia a la tensión indica que la integridad estructural del material compuesto se compromete de manera progresiva conforme aumenta el contenido de humedad, independientemente del medio de exposición.

Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

La Figura 4b muestra que el módulo elástico también disminuye en función del agua absorbida. Las muestras expuestas en agua destilada presentan una disminución abrupta, mientras que las sometidas a agua de mar exhiben una reducción más lenta. Este comportamiento indica que el ingreso de humedad afecta la capacidad de soportar carga y la respuesta elástica inicial del material. La reducción del módulo puede interpretarse como consecuencia de la degradación de la matriz epóxica y de la adhesión interfacial fibra-matriz. Durante la inmersión, moléculas como H₂O, O₂ y CO₂, así como especies iónicas presentes en el agua de mar, pueden penetrar a través de microgrietas, poros y discontinuidades internas, modificando la estructura del polímero y promoviendo la propagación de nuevas microgrietas. Este fenómeno reduce la restricción mecánica que la matriz ejerce sobre las fibras y disminuye la eficiencia del conjunto para resistir deformaciones bajo carga.

Estos resultados muestran que la absorción de agua conduce a una degradación progresiva del comportamiento mecánico del material compuesto laminado de fibra de carbón y resina epóxica, asociada a la plastificación de la matriz polimérica, a la degradación de la interfase fibra-matriz y a la propagación de las microgrietas que conducen a la ruptura final del material.

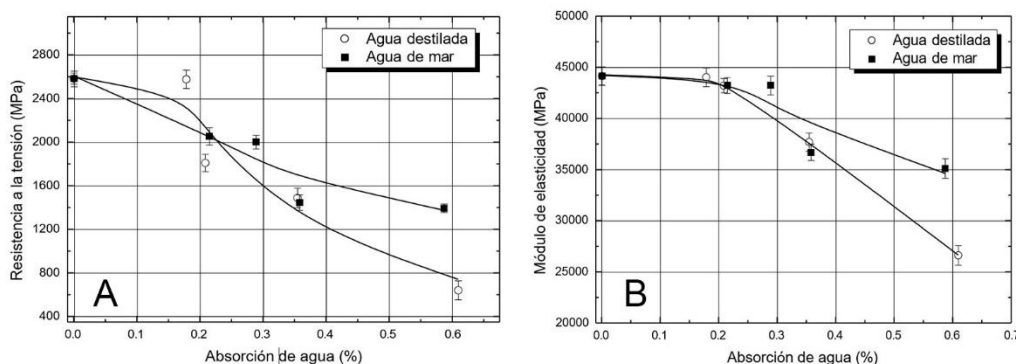


Figura 4. Variación de las propiedades mecánicas del laminado de fibra de carbono/resina epóxica en función del contenido de agua absorbida en agua destilada y agua de mar: (A) resistencia a la tensión y (B) módulo de elasticidad.

CONCLUSIÓN

En esta investigación se evaluó el efecto de la absorción de agua destilada y de mar sobre la cinética de absorción, el ajuste al modelo de Fick y las propiedades mecánicas de ambos materiales. Los resultados mostraron que la degradación hidromecánica depende principalmente de la matriz epóxica y de la calidad de la unión entre la fibra y la matriz. Los resultados obtenidos muestran que la absorción de agua afecta de manera diferente pero consistente al comportamiento higroscópico y mecánico de la resina epóxica y del material compuesto de fibra de carbón y resina epóxica. La resina epóxica presentó una mayor capacidad de absorción que el material compuesto, con mejores resultados en agua destilada que en agua de mar. Esto confirma que la matriz polimérica controla el proceso de difusión del sistema. En el material compuesto se tuvo una menor absorción y el ajuste experimental mostró un adecuado ajuste con el modelo de difusión de Fick en ambos medios. También, se observó en la resina y en el material compuesto una disminución progresiva de la



Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

resistencia a la tensión y del módulo de elasticidad al aumentar el contenido de agua absorbida. La pérdida de propiedades más severa fue en agua destilada para el material compuesto mientras que se tuvo un comportamiento muy similar en ambos medios para la resina. El estudio muestra que pequeñas diferencias en la cantidad de agua absorbida pueden llevar a reducciones mecánicas importantes.

REFERENCIAS

- Aithal, S., Hossagadde, P. N., Kini, M. V., & Pai, D. (2023). Durability study of quasi-isotropic carbon/epoxy composites under various environmental conditions. *Iranian Polymer Journal*, 32(7), 873-885. <https://doi.org/10.1007/s13726-023-01172-x>
- Bel Haj Frej, H., Léger, R., Perrin, D., & Lenny, P. (2021). A Novel Thermoplastic Composite for Marine Applications: Comparison of the Effects of Aging on Mechanical Properties and Diffusion Mechanisms. *Applied Composite Materials*, 28(4), 899-922. <https://doi.org/10.1007/s10443-021-09903-0>
- Bone, J. E., Sims, G. D., Maxwell, A. S., Frenz, S., Ogin, S. L., Foreman, C., & Dorey, R. A. (2022). On the relationship between moisture uptake and mechanical property changes in a carbon fibre/epoxy composite. *Journal of Composite Materials*, 56(14), 2189-2199. <https://doi.org/10.1177/00219983221091465>
- Chakkour, M., Moussa, M. O., Khay, I., Balli, M., & Ben Zineb, T. (2024). Hygroscopic aging cycles of bamboo fiber/epoxy composites: Comparative study between distilled water and sea water. *Industrial Crops and Products*, 209, 117957. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117957>
- Choudhari, P., Kulkarni, V., & Khandal, S. (2024). Review on Efforts to Improve the Mechanical Performance of Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites Under the Marine Environment. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 105(1), 241-269. <https://doi.org/10.1007/s40032-023-01009-9>
- Ghabezi, P., & Harrison, N. M. (2022). Hygrothermal deterioration in carbon/epoxy and glass/epoxy composite laminates aged in marine-based environment (degradation mechanism, mechanical and physicochemical properties). *Journal of Materials Science*, 57(6), 4239-4254. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-06917-2>
- Hong, S. K. (2021). The Effect of Long Term Hygrothermal Aging by Immersion on Carbon/Epoxy Composites Exposed to the Heat Sources for Naval and Marine Applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1117(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1117/1/012018>
- Idrisi, A. H., Mourad, A.-H. I., Abdel-Magid, B. M., & Shivamurty, B. (2021). Investigation on the Durability of E-Glass/Epoxy Composite Exposed to Seawater at Elevated Temperature. *Polymers*, 13(13), 2182. <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/13/2182>
- Massou, M., Babu, N., & Xian, G. (2023). Experimental study on the mechanical properties of CFRP/epoxy composite plates under seawater immersion. *Structures*, 54, 48-57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.05.042>



Efecto de la difusión y degradación mecánica de resina epóxica y un material compuesto de fibra de carbón/resina epóxica bajo exposición hídrica

- Nan, J., Zhi, C., Meng, J., Miao, M., & Yu, L. (2023). Seawater aging effect on fiber-reinforced polymer composites: Mechanical properties, aging mechanism, and life prediction. *Textile Research Journal*, 93(13-14), 3393-3413. <https://doi.org/10.1177/00405175231152666>
- Oğuz, Z. A., & Erkliğ, A. (2022). Hydrothermal aging effect on the tensile properties of hybrid aramid/glass/epoxy composites: Comparison of distilled water and seawater. *Journal of Composite Materials*, 56(24), 3695-3714. <https://doi.org/10.1177/00219983221121850>
- Osa-uwagboe, N., Silberschmidt, V. V., & Demirci, E. (2024). Review on Mechanical Performance of Fibre-Reinforced Plastics in Marine Environments. *Applied Composite Materials*, 31(6), 1991-2018. <https://doi.org/10.1007/s10443-024-10247-8>
- Rudawska, A. (2020). The Effect of the Salt Water Aging on the Mechanical Properties of Epoxy Adhesives Compounds. *Polymers*, 12(4), 843. <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/4/843>
- Torabizadeh, M. A., & Maleki, S. (2024). Mechanical behavior of epoxy resin with graphite additive subjected to water absorption. *Materials Testing*, 66(6), 856-866. <https://doi.org/doi:10.1515/mt-2023-0414>
- Wang, H., Lin, J., Yu, Y., Zuo, X., Liu, Y., Ding, H.,...Bi, Y. (2025). Moisture Absorption Characterization and Mechanical Properties of CFRP Under the Combined Effects of Seawater and Continuous Bending Stress. *Applied Composite Materials*, 32(5), 2013-2033. <https://doi.org/10.1007/s10443-024-10254-9>
- Wong, K. J., Johar, M., Kolor, S. S. R., Petrú, M., & Tamin, M. N. (2020). Moisture Absorption Effects on Mode II Delamination of Carbon/Epoxy Composites. *Polymers*, 12(9), 2162. <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/9/2162>
- Xiong, C., Huang, Y., Jin, Z., Wang, P., & Hu, Y. (2024). Influence of salt concentration and pH value on the degradation of epoxy resin used in FRP bars under simulated marine conditions. *Journal of Building Engineering*, 98, 111405. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111405>
- Zhang, W., Kazemi, E., Arab, B., & Zhang, W. (2025). Ageing of carbon fibre-reinforced polymers (CFRPs) under hygro-thermal-salt conditions. *Journal of Composite Materials*, 59(30), 3367-3379. <https://doi.org/10.1177/00219983251349898>



Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

Methodological improvement for risk and opportunity analysis under ISO 9001:2015 in a higher education institution

Karina Vega García¹
Martha Elia García Reboloso²
Juan Diego Guerrero Villegas³
Ángela Gabriela Lara Aguilar⁴
Oscar Daniel Solís Reyes⁵

RESUMEN

La norma ISO 9001:2015 introdujo el pensamiento basado en riesgos como elemento transversal del sistema de gestión de calidad, exigiendo a las organizaciones identificar, evaluar y dar tratamiento a los riesgos y oportunidades que puedan afectar sus objetivos. En instituciones de educación superior con estructuras organizacionales en transición, la operacionalización de este requisito puede presentar brechas sistémicas que derivan en no conformidades auditables. El presente artículo documenta el diagnóstico, diseño e implementación de una metodología de análisis de riesgos y oportunidades con enfoque de proceso en el Sistema de Gestión Integral (SGI) de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), en respuesta a hallazgos identificados durante auditorías interna y externa realizadas en 2021. Mediante un enfoque de investigación cualitativa, se aplicó la herramienta Cinco Porqués y Un Cómo para determinar la causa raíz de la no conformidad, identificando que la ausencia de una metodología clara y comprensible para la nueva estructura organizacional —que había renovado el 80% de sus responsables de proceso— constituía el origen del problema. Se diseñó un Plan de Acción Correctiva con cuatro actividades concretas y se desarrolló una Matriz de Análisis de Riesgos estandarizada para todos los procesos del SGI. Los resultados demuestran que las cuatro actividades fueron completadas al 100%, el hallazgo fue cerrado durante la Auditoría Interna No. 40, y la hipótesis de investigación fue confirmada. El estudio aporta evidencia sobre la pertinencia de metodologías participativas y estructuradas para fortalecer la madurez de los sistemas de gestión de calidad en contextos universitarios con alta rotación de personal.

¹ Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León. Profesora de Tiempo Completo y Coordinadora Administrativa de la Secretaría de Desarrollo Institucional, karina.vegagcr@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0003-1595-6398>

² Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León. Profesora de Tiempo Completo Titular A y Titular de la Secretaría de Desarrollo Institucional, martha.garciab@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0001-5863-0396>

³ Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y Preparatoria No. 17, Universidad Autónoma de Nuevo León. Profesor de Asignatura y Coordinador General de la Secretaría de Desarrollo Institucional, jguerrerov@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0005-5030-4955>

⁴ Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León. Auxiliar Administrativo de la Secretaría de Desarrollo Institucional, gabriela.laraqlr@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0006-4769-6959>

⁵ Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León Estudiante de Licenciatura, Ingeniería Mecánica Eléctrica, oscar.solisrys@uanl.edu.mx



Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo
ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

PALABRAS CLAVES: gestión de riesgos; ISO 9001:2015; sistema de gestión de calidad; mejora continua; educación superior; no conformidad; auditoría interna.

Fecha de recepción: 06 de marzo, 2026.

Fecha de aceptación: 24 de abril, 2026.

ABSTRACT

ISO 9001:2015 introduced risk-based thinking as a cross-cutting element of quality management systems, requiring organizations to identify, evaluate, and address risks and opportunities that may affect their objectives. In higher education institutions undergoing organizational transitions, operationalizing this requirement may present systemic gaps that lead to auditable nonconformities. This paper documents the diagnosis, design, and implementation of a process-based risk and opportunity analysis methodology within the Integrated Management System (SGI) of the School of Mechanical and Electrical Engineering (FIME) at the Autonomous University of Nuevo León (UANL), in response to findings identified during internal and external audits conducted in 2021. Using a qualitative research approach, the Five Whys and One How tool was applied to determine the root cause of the nonconformity, identifying that the absence of a clear and comprehensible methodology for the new organizational structure—which had renewed 80% of its process owners—constituted the origin of the problem. A four-activity Corrective Action Plan was designed and a standardized Risk Analysis Matrix was developed for all SGI processes. Results show that all four activities were completed at 100%, the finding was closed during Internal Audit No. 40, and the research hypothesis was confirmed. The study provides evidence on the relevance of participatory and structured methodologies for strengthening quality management system maturity in university contexts with high staff turnover.

KEYWORDS: risk management; ISO 9001:2015; quality management system; continuous improvement; higher education; nonconformity; internal audit.

INTRODUCCIÓN

La gestión de la calidad ha evolucionado significativamente desde sus orígenes en el control de inspección hasta convertirse en un sistema organizacional integral orientado a la mejora continua y la satisfacción del cliente. Según Dean y Bowen (1994), la gestión de la calidad puede definirse como una filosofía o enfoque de gestión caracterizado por sus principios, prácticas y técnicas, cuya aplicación transforma la forma en que las organizaciones diseñan, controlan y mejoran sus procesos. Esta evolución quedó reflejada en las sucesivas revisiones de la norma ISO 9001, que pasó de un enfoque documentalista en sus versiones de 1987 y 1994, a un modelo centrado en la gestión de procesos desde 2000, hasta alcanzar en su versión 2015 la incorporación formal del pensamiento basado en riesgos como requisito central (Campbell, 2018).

La norma ISO 9001:2015 representa el cambio más profundo en la historia de la norma. Su principal innovación fue la adición del pensamiento basado en riesgos al sistema de gestión de calidad, considerado simultáneamente como la mayor dificultad y el mayor beneficio para las organizaciones



Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

certificadas (Excellence, 2019). A diferencia de versiones anteriores, que apenas contemplaban acciones preventivas —y erróneamente, solo después de la materialización de un riesgo—, la versión 2015 exige que las organizaciones identifiquen proactivamente los riesgos y oportunidades que pueden afectar el logro de sus objetivos e integren este análisis en la operación de todos sus procesos (ISO 9001, 2015). Esta lógica de anticipación es lo que la norma denomina enfoque de proceso con pensamiento basado en riesgos, sustentado en el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA).

Para las instituciones de educación superior (IES), la implementación de este requisito enfrenta condiciones organizacionales particulares. La calidad en las universidades actúa directamente en los procesos operacionales de la institución y contribuye positivamente hacia la toma de decisiones (Shah, 2016). Sin embargo, como señalan Sónia Cardoso et al. (2015), el interés por implementar el aseguramiento de la calidad en las IES ha crecido significativamente desde fines de los ochenta, pero su efectividad depende de que las instituciones logren integrar la cultura de calidad con sus condiciones internas y externas específicas. Cuando una IES experimenta una reorganización estructural profunda, la continuidad metodológica del sistema de gestión de calidad puede verse severamente comprometida.

La Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) opera un Sistema de Gestión Integral (SGI) certificado bajo ISO 9001:2015, coordinado por la Secretaría de Desarrollo Institucional (SDI). Durante 2021, la FIME atravesaba una reorganización estructural que había renovado el 80% de los responsables de proceso del SGI. En ese contexto, las auditorías interna y externa identificaron hallazgos relacionados con los análisis de riesgos, evidenciando la inexistencia de una metodología clara de identificación de riesgos comprendida por la nueva estructura organizacional. Esta situación derivó en una acción correctiva que exigía demostrar la resolución a la causa raíz del problema.

El presente artículo documenta el proceso metodológico seguido para responder a esta necesidad institucional. La pregunta de investigación es: ¿el diseño e implementación de una nueva metodología para el análisis de gestión de riesgos permite cerrar la acción correctiva de la auditoría externa y demostrar mejora en el SGI? El trabajo se estructura en cinco objetivos específicos que abarcan desde el análisis causal de la no conformidad hasta el establecimiento de la nueva metodología estandarizada, aportando evidencia empírica sobre la efectividad de intervenciones metodológicas focalizadas en sistemas de gestión de calidad universitarios.

OBJETIVO

Diseñar, implementar y validar una metodología de análisis de riesgos y oportunidades con enfoque de proceso, bajo ISO 9001:2015, que fortalezca el Sistema de Gestión Integral de la FIME-UANL y resuelva la no conformidad detectada en auditorías.

HIPÓTESIS

El diseño e implementación de una nueva metodología para el análisis de gestión de riesgos permitirá cerrar la acción correctiva derivada de la auditoría externa y demostrar una mejora en el Sistema de Gestión Integral (SGI) de la FIME-UANL.



JUSTIFICACIÓN

La creciente complejidad de los entornos organizacionales y las exigencias de los sistemas de los sistemas de gestión de calidad han posicionado al pensamiento basado en riesgos como un componente estratégico en la toma de decisiones institucionales. En este contexto, la norma ISO 9001:2015 introduce un cambio paradigmático al integrar la gestión de riesgos y oportunidades como un eje transversal en todos los procesos organizacionales, lo que implica no solo su identificación, sino su incorporación sistemática en la operación y mejora continua de los sistemas de gestión.

En el ámbito de las instituciones de educación superior (IES), la implementación de estos enfoques enfrenta desafíos particulares derivados de sus estructuras organizacionales, dinámicas administrativas y procesos de cambio institucional. En especial, las reorganizaciones estructurales como la renovación significativa de responsables de proceso, pueden generar brechas en la transferencia de conocimiento metodológico, afectando la correcta aplicación de los requisitos normativos y derivando en no conformidades durante auditorías internas y externas.

En este sentido, el presente estudio se justifica por la necesidad de diseñar e implementar metodologías claras, estandarizadas y comprensibles que permitan fortalecer la gestión de riesgos dentro de los sistemas de gestión de calidad en contextos universitarios. La investigación aporta evidencia empírica sobre la efectividad de una intervención metodológica basada en el enfoque de procesos y en herramientas de análisis causal, contribuyendo a la mejora de la madurez organizacional del sistema de gestión integral.

Asimismo, el estudio adquiere relevancia al ofrecer un modelo replicable en otras IES que enfrentan problemáticas similares, particularmente en escenarios de alta rotación de personal transformación institucional, donde la sostenibilidad del sistema de gestión depende en gran medida de la adecuada aprobación de sus metodologías por parte de los actores involucrados.

MARCO TEÓRICO

Evolución de la gestión de calidad y su aplicación en la educación superior

La gestión de la calidad, tal como se concibe en la actualidad, evolucionó durante el siglo XX a partir de un conjunto inicial de ideas orientadas a la inspección, hasta consolidarse como un marco integral para gestionar todos los aspectos de la calidad en organizaciones de cualquier tipo y sector (Bisgaard, 2008). Los principales teóricos que configuraron este campo —Philip B. Crosby, W. Edwards Deming, Joseph M. Juran, Armand V. Feigenbaum y Kaoru Ishikawa, entre otros— coincidieron en que la calidad no es responsabilidad exclusiva de un departamento de inspección, sino que involucra a todos los niveles y funciones de la organización. Deming, en particular, estableció que la calidad debe ser diseñada desde el origen para satisfacer las necesidades futuras de los usuarios, mientras que Juran definió la calidad como aptitud para el uso, orientando la gestión hacia la satisfacción objetiva de las necesidades del cliente (Bisgaard, 2008).

Uno de los pilares conceptuales de la gestión de calidad total es la mejora continua. Como señalan Reid, Koljonen y Buell (1999), la mejora continua constituye uno de los principales pilares de la Gestión de la Calidad Total (TQM), orientándose a eliminar los desperdicios y las operaciones que no añaden valor a los productos o procesos. En el ámbito de las instituciones de educación superior,

Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

Madzík (2015) propone que la calidad universitaria debe analizarse desde perspectivas internas y externas: la interna busca que la calidad del proceso formativo sea el objetivo principal, soportado en recursos y normas estandarizadas; la externa evalúa los resultados que la institución proyecta hacia la sociedad. Este enfoque dual es particularmente relevante para los SGC universitarios, que deben atender simultáneamente las exigencias de los organismos certificadores y las necesidades de su comunidad académica.

El aseguramiento de la calidad en las IES se articula a través de dos tipos: el interno, que engloba todos los aspectos propios de la institución educativa, y el externo, en el que intervienen organismos independientes —gubernamentales o privados— que evalúan y certifican los procesos institucionales (Paor, 2016). La experiencia internacional demuestra que la efectividad del aseguramiento de la calidad en las universidades depende de tres factores fundamentales: impulsar una cultura de calidad que vincule el compromiso institucional con el cumplimiento de requisitos; adaptar las condiciones externas impuestas por las políticas estatales a la estructura interna de la institución; y construir evidencia documental de los procesos como soporte de la estandarización (Sónia Cardoso et al., 2015). Estos tres factores configuran el telón de fondo en que se inscribe el problema estudiado en este artículo.

ISO 9001:2015 y el pensamiento basado en riesgos

La norma ISO 9001:2015 representa la evolución más profunda de la familia ISO 9001 desde su primera edición en 1987. A partir de un análisis comparativo de sus ediciones —1987, 1994, 2000, 2008 y 2015—, Campbell (2018) documenta cómo el enfoque de la norma migró progresivamente desde la documentación de procedimientos hacia la gestión de procesos, y de ahí hacia la integración del pensamiento basado en riesgos como lógica organizacional transversal. En la versión 2015, la norma incorporó entre sus novedades la documentación para el uso de estándares, el liderazgo, el desempeño como criterio central y, sobre todo, el pensamiento basado en riesgos como nuevo eje articulador (Campbell, 2018).

Según la propia norma, el riesgo se define como el efecto de la incertidumbre, entendiendo el efecto como una desviación de lo esperado —positiva o negativa— y la incertidumbre como el estado de deficiencia de información relacionada con la comprensión de un evento, su consecuencia o su probabilidad (ISO 9001, 2015). Esta definición, que la norma comparte con estándares de referencia en gestión de riesgos, implica que el tratamiento de los riesgos abarca tanto la mitigación de amenazas como el aprovechamiento de oportunidades. En consecuencia, la cláusula 6.1 de ISO 9001:2015 exige que las organizaciones determinen los riesgos y oportunidades que deben abordarse para asegurar los resultados previstos del SGC, aumentar los efectos deseables, prevenir efectos no deseados y lograr la mejora continua.

En el contexto universitario, Marde (2015) identifica que los beneficios de la ISO 9001 se materializan en múltiples niveles: a nivel organizacional, incrementa la productividad y la presencia en el entorno; a nivel financiero, contribuye a la reducción de costos; internamente, mejora la comunicación entre los equipos; y en la relación con los usuarios, garantiza la calidad de los servicios y fortalece la confianza. Sin embargo, para que estos beneficios se alcancen, es indispensable que todos los niveles jerárquicos comprendan y se apropien de las metodologías del SGC, condición que se vuelve crítica cuando la organización experimenta cambios estructurales significativos.

La adopción del sistema de gestión de calidad bajo ISO 9001:2015 es una decisión estratégica que puede ayudar a la organización a mejorar su desempeño global. El enfoque a procesos, que

Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

incorpora el ciclo PHVA y el pensamiento basado en riesgos, permite planificar los procesos y sus interacciones de modo que las oportunidades de mejora se determinen y se actúe en consecuencia (CERTIFICACIÓN, 2018). La versión 2015, al sustituir las acciones preventivas discretas por un análisis de riesgos integrado en cada proceso, insinúa la necesidad de implementar modelos de gestión de riesgos robustos que se articulen con el enfoque de procesos del SGC, lo que representa un salto cualitativo en la madurez del sistema.

La herramienta Cinco Porqués y Un Cómo en la gestión de no conformidades

La herramienta de los Cinco Porqués es una técnica sistemática de análisis causal utilizada en la fase de análisis de problemas para buscar las causas principales de una no conformidad. Desarrollada en el marco del Sistema de Producción Toyota y posteriormente adoptada en el contexto del Six Sigma, la técnica consiste en formular la pregunta '¿por qué?' de manera iterativa —aproximadamente cinco veces o hasta que resulte difícil continuar respondiendo— hasta identificar la causa raíz del problema (Journal of Production Research, 2013). La lógica subyacente es que los síntomas observables de un problema rara vez revelan su origen sistémico, y que solo a través de la profundización causal es posible diseñar soluciones que ataquen el problema de raíz en lugar de paliar sus manifestaciones superficiales.

La variante extendida, Cinco Porqués y Un Cómo, añade la dimensión de solución al análisis: una vez identificada la causa raíz mediante la secuencia de porqués, se formula la pregunta '¿cómo?' para vincular el diagnóstico causal con el diseño del plan de acción correctiva. Esta integración entre análisis y solución hace de la herramienta un instrumento especialmente pertinente en los procesos de atención de no conformidades bajo ISO 9001:2015, ya que permite demostrar la coherencia entre la causa raíz identificada, las acciones correctivas diseñadas y los resultados obtenidos, cumpliendo así con los requisitos de trazabilidad y evidencia documental que la norma exige. Características como mantener la investigación basada en hechos, generar ideas enfocadas en el camino de la causa más probable y permitir identificar la raíz de forma rápida y sencilla hacen de esta herramienta una de las más utilizadas por profesionales de la dirección de proyectos y la gestión de calidad (Journal of Production Research, 2013).

ESTADO DEL ARTE

La gestión de la calidad ha evolucionado significativamente desde enfoques centrados en la inspección hacia modelos integrales orientados a la mejora continua y la gestión por procesos. Autores clásicos como Deming, Juran, Crosby e Ishikawa sentaron las bases conceptuales de la calidad total, destacando la importancia de integrar a toda la organización en la búsqueda de la excelencia y la satisfacción del cliente (Bisgaard, 2008). Este enfoque se consolidó con la adopción de modelos como el ciclo PHVA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), que estructura la mejora continua como un proceso sistemático.

En contexto normativo, la evolución de la familia ISO 9001 REFLEJA ESTA TRANSFORMACIÓN. De acuerdo con Campbell (2018), las versiones más recientes de la norma han transmitido desde un enfoque documental hacia uno centrado en la gestión de procesos y, posteriormente, hacia la incorporación del pensamiento basado en riesgos como elemento clave. La versión ISO 9001:2015 representa un hito en esta evolución al exigir que las organizaciones identifiquen y gestionen de

Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

manera proactiva los riesgos y oportunidades que pueden afectar el logro de sus objetivos (ISO, 2015).

En el ámbito de la educación superior, el aseguramiento de la calidad ha adquirido creciente relevancia desde finales del siglo XX, impulsado por la necesidad de responder a estándares internacionales y demandas sociales (Sónia Cardoso et al., 2015). Sin embargo, diversos estudios coinciden en que la efectividad de los sistemas de gestión de calidad en las IES depende no solo de la adopción de los modelos normativos, sino de su adecuada contextualización y aprobación institucional (Madzik, 2015; Paor, 2016).

En particular, la implementación del pensamiento basado en riesgos en universidades presenta desafíos asociados a la complejidad organizacional, la diversidad de procesos y la gestión del conocimiento. Marde (2015) señala que los beneficios de la certificación ISO 9001 solo se materializan cuando existe una comprensión efectiva de las metodologías por parte de todos los niveles organizacionales, lo cual se ve comprometido en contextos de cambio estructural.

Por otro lado, herramientas e análisis causal como los Cinco Porqués han demostrado ser eficientes en la identificación de causa raíz de problemas organizacionales, especialmente en entornos de mejora continua (Journal of Production Research, 2013). Su integración con enfoques de acción correctiva permite establecer una relación directa entre diagnóstico y solución, fortaleciendo la trazabilidad y la efectividad de las intervenciones.

A pesar de los avances en la literatura, existe una limitada evidencia empírica sobre la implementación de metodologías específicas para la gestión de riesgos en sistemas de gestión de calidad dentro de IES, particularmente en contextos latinoamericanos. En este sentido, el presente estudio contribuye a cerrar la brecha al documentar un caso aplicado de diseño e implementación metodológica, aportando elementos teóricos y prácticos para el fortalecimiento de la gestión de calidad en el sector educativo.

METODOLOGÍA

Enfoque y diseño de investigación

La investigación adoptó un enfoque cualitativo, consistente con la naturaleza del fenómeno estudiado: la brecha metodológica en la gestión de riesgos del SGI de la FIME-UANL. El enfoque cualitativo fue determinado por la necesidad de interpretar y comprender la realidad organizacional a partir de la experiencia del autor y de los resultados obtenidos en el proceso de intervención (Solís Reyes, 2021). Este enfoque permitió el conocimiento de hechos que reflejan la realidad en la FIME, incluyendo las condiciones de la nueva estructura organizacional, las percepciones de los responsables de proceso y los factores institucionales que contribuyeron a la no conformidad.

El diseño corresponde al paradigma de la investigación-acción: el investigador participó activamente en el diagnóstico del problema, el diseño de soluciones, su implementación y la evaluación de resultados en el contexto real de la organización. Este diseño es apropiado cuando el objetivo es tanto generar conocimiento aplicado como producir un cambio concreto y verificable en la organización estudiada.



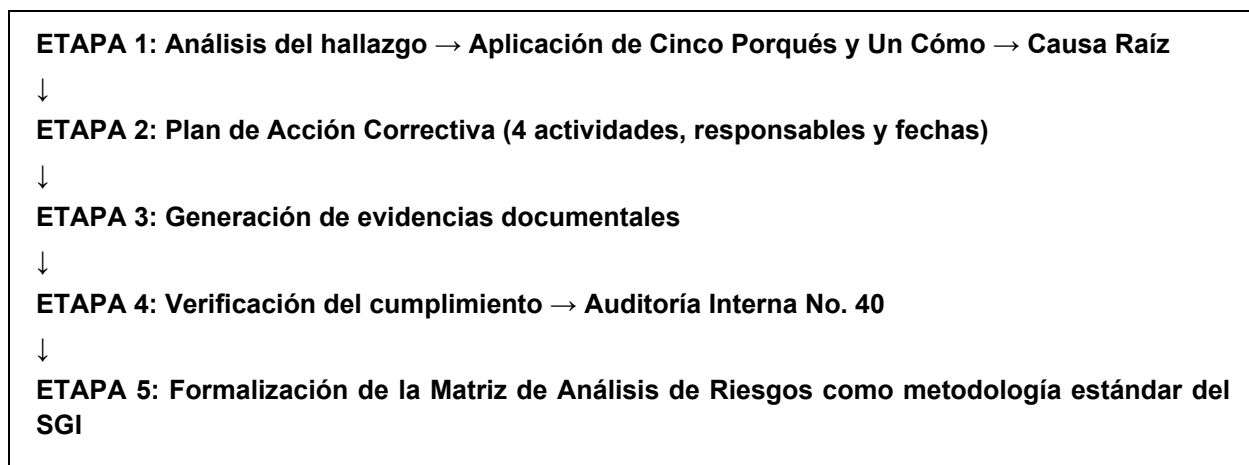
Contexto institucional: FIME-UANL y su SGI

La Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León fue fundada en 1947 y se estableció formalmente en 1956 como FIME al crearse la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Reconocida como una de las mejores escuelas públicas de ingeniería en México, la FIME destaca por su amplia oferta educativa —carreras universitarias, maestrías, doctorados, cursos y diplomados— y por contar con diversas certificaciones internacionales que avalan la calidad de sus procesos y programas académicos. Sus certificaciones vigentes incluyen ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018 e ISO 21001:2018, además de las acreditaciones de sus programas de licenciatura por CACEI, EUR-ACE y ABET, y de sus posgrados por el PNPC, CIEES y AUIP.

El SGI de la FIME es coordinado por la Secretaría de Desarrollo Institucional (SDI) e integra los procesos académico-administrativos de las distintas subdirecciones y departamentos de la facultad. Para el periodo de estudio (2021), la FIME atravesaba una reorganización estructural que implicó la renovación del 80% de los responsables de proceso del SGI, lo que generó una pérdida significativa de conocimiento metodológico sobre la gestión de riesgos e impactó directamente en la calidad de los análisis de riesgos elaborados por cada proceso.

Proceso metodológico: cinco etapas secuenciales

El proceso de investigación e intervención se estructuró en cinco etapas secuenciales, cada una correspondiente a un objetivo específico del estudio. La secuencia metodológica puede esquematizarse como: Análisis del hallazgo → Plan de Acción Correctiva → Implementación y evidencias → Verificación → Nueva metodología estandarizada.



**Figura 1. Flujo metodológico del proceso de investigación-acción.
Elaboración propia con base en Solís Reyes (2021).**

Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

Etapa 1 – Análisis del hallazgo y determinación de la causa raíz

Al producirse una no conformidad, la organización debe reaccionar ante ella tomando decisiones para controlarla y corregirla, evaluar la necesidad de acciones que eliminen sus causas, implementar las acciones necesarias, revisar la eficiencia de las acciones correctivas llevadas a cabo y, si fuera necesario, realizar cambios en el sistema de gestión de calidad (ISO 9001, 2015). Siguiendo este marco normativo, se revisó el Reporte de Acción Correctiva emitido por la auditoría externa, que consignaba como no conformidad menor la insuficiencia en los análisis de riesgos de los procesos del SGI. Se aplicó la herramienta Cinco Porqués y Un Cómo para trazar la cadena causal y determinar el origen sistémico del problema.

Etapa 2 – Plan de Acción Correctiva

A partir de la causa raíz identificada, se diseñó el Plan de Acción Correctiva (PAC) con cuatro actividades específicas, con responsables designados y fechas de compromiso: (1) diseño de la nueva metodología de análisis de riesgos con enfoque de proceso; (2) elaboración de un manual de instrucciones para los responsables de proceso; (3) capacitación a los responsables de los procesos del área de Posgrado, que concentraban la mayor proporción de integrantes nuevos; y (4) actualización y validación de los análisis de riesgos de todos los procesos del SGI bajo la nueva metodología.

Etapa 3 – Implementación y generación de evidencias

Las cuatro actividades del PAC se ejecutaron, se generó evidencia documental para cada actividad: plantillas de la Matriz de Análisis de Riesgos, manual de instrucciones distribuido a los responsables, listas de participantes en las capacitaciones y los análisis de riesgos actualizados de cada proceso. El análisis de riesgos fue definido como el estudio para evaluar los peligros potenciales u oportunidades, para analizar sus posibles consecuencias con el objeto de establecer medidas de prevención y protección (Solís Reyes, 2021).

Etapa 4 – Verificación

La verificación del cumplimiento estuvo a cargo de la Dra. Martha Elia García Reboloso, con supervisión del Subdirector de Posgrado. La evaluación de la efectividad se realizó durante la Auditoría Interna No. 40.

Etapa 5 – Formalización de la metodología

Con base en los resultados obtenidos, la Matriz de Análisis de Riesgos fue formalizada como herramienta metodológica estándar del SGI, incorporada al sistema documental de la FIME y comunicada a todas las subdirecciones y departamentos para su aplicación en los ciclos anuales de revisión del SGI.

RESULTADOS

Diagnóstico causal: aplicación de Cinco Porqués y Un Cómo

La aplicación de la herramienta Cinco Porqués y Un Cómo sobre el hallazgo identificado en la auditoría externa permitió establecer la cadena causal completa de la no conformidad. El punto de partida fue el síntoma observable: los análisis de riesgos de los procesos del SGI no cubrían la totalidad de las actividades ni incluían todos los elementos requeridos por la norma. La Tabla 1

Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

presenta la secuencia causal construida durante el diagnóstico, que condujo a la identificación de la causa raíz y a la definición de la línea de acción.

Tabla 1. Aplicación de la herramienta Cinco Porqués y Un Cómo

Nivel	Pregunta / Respuesta
Síntoma	Los análisis de riesgos no cubren el 100% de las actividades de los procesos ni incluyen todos los elementos requeridos por ISO 9001:2015
1° ¿Por qué?	Los responsables de proceso no conocen el procedimiento correcto para elaborar el análisis de riesgos
2° ¿Por qué?	No recibieron capacitación específica sobre la metodología de gestión de riesgos del SGI
3° ¿Por qué?	Son integrantes nuevos de la estructura organizacional, resultado de la reciente reorganización institucional
4° ¿Por qué?	La FIME experimentó una reorganización estructural que renovó al 80% de los responsables de proceso del SGI
5° ¿Por qué? (Causa raíz)	La metodología existente de análisis de riesgos no fue actualizada ni comunicada para adaptarse a la nueva estructura organizacional de la FIME
¿Cómo?	Diseñando una nueva metodología de análisis de riesgos con enfoque de proceso, elaborando un manual de instrucciones, capacitando a los nuevos responsables y actualizando los análisis de todos los procesos del SGI

Fuente: elaboración propia con base en el Reporte de Acción Correctiva, SDI-FIME-UANL (2021).

Plan de Acción Correctiva y verificación de cumplimiento

A partir de la causa raíz identificada, se diseñó el Plan de Acción Correctiva con cuatro actividades específicas. Cada actividad fue asignada a un responsable con fecha de compromiso definida. La Tabla 2 presenta el detalle de las actividades, sus responsables, las fechas de verificación y el grado de cumplimiento alcanzado, conforme al registro oficial generado por la SDI de la FIME.

Tabla 2. Plan de Acción Correctiva: actividades, responsables y cumplimiento

No.	Actividad	Cumplimiento
1	Diseño de la nueva metodología de análisis de riesgos con enfoque de proceso para el SGI de la FIME	100%



Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

2	Elaboración de manual de instrucciones para responsables de proceso, con lenguaje accesible y ejemplos prácticos	100%
3	Capacitación a los responsables de los procesos del área de Posgrado incorporados a la nueva estructura organizacional	100%
4	Actualización y validación de los análisis de riesgos de todos los procesos del SGI bajo la nueva metodología	100%

Fuente: Plan de Acción y Verificación de Resultados, SDI-FIME-UANL (2021). Verificación: Dra. Martha Elia García Reboloso. Supervisión: Subdirector de Posgrado.

La efectividad de las acciones correctivas fue evaluada durante la Auditoría Interna No. 40, celebrada en octubre de 2021. El registro oficial de verificación del 18 de octubre de 2021, firmado por la Dra. Martha Elia García Reboloso como responsable de la verificación, consigna que se llevaron a cabo las cuatro actividades propuestas en el Plan de Acción y que durante la auditoría interna No. 40 no se encontraron faltantes en los análisis de riesgos, observándose además mucha disposición por parte de los responsables de los procesos del Posgrado. Estos resultados confirmaron el cierre satisfactorio de la no conformidad y la efectividad de la intervención.

La nueva metodología: Matriz de Análisis de Riesgos del SGI

El producto metodológico central del proyecto fue el diseño de la Matriz de Análisis de Riesgos del SGI-FIME, herramienta estandarizada para que cada responsable de proceso realice el análisis de riesgos y oportunidades de su área con enfoque de proceso. La metodología fue diseñada para garantizar que el análisis incluya el 100% de las actividades del proceso, las consecuencias, los controles antes de la evaluación del riesgo, la evaluación del riesgo, los controles después de la evaluación del riesgo, y la reevaluación del riesgo para verificar la eficacia de las acciones tomadas (Solis Reyes, 2021). Esta cobertura exhaustiva elimina las zonas de sombra metodológica que habían originado la no conformidad.

La Tabla 3 describe los elementos constitutivos de la Matriz de Análisis de Riesgos, que integra los componentes requeridos por la cláusula 6.1 de ISO 9001:2015 en un formato único, trazable y aplicable a todos los procesos del SGI.

Tabla 3. Elementos constitutivos de la Matriz de Análisis de Riesgos del SGI-FIME

No.	Elemento	Descripción
1	Riesgo u Oportunidad	Descripción del evento incierto con potencial impacto negativo (riesgo) o positivo (oportunidad) sobre los objetivos del proceso



Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

2	Nivel de Riesgo	Evaluación de la severidad del impacto y la probabilidad de ocurrencia, con clasificación resultante: Alto, Medio o Bajo
3	Objetivos asociados	Objetivo de calidad del proceso directamente vinculado al riesgo u oportunidad identificado
4	Acciones de control previas	Controles, procedimientos o mecanismos existentes antes de aplicar la evaluación formal del riesgo
5	Reevaluación del nivel de riesgo	Nivel de riesgo residual tras considerar los controles previos; permite valorar la efectividad de los controles existentes
6	Acciones de tratamiento posteriores	Acciones específicas de mitigación (riesgo) o aprovechamiento (oportunidad) a implementar para reducir el nivel residual
7	Responsable de la acción	Persona o área responsable de ejecutar cada acción de tratamiento definida
8	Fechas de compromiso y seguimiento	Fecha límite de implementación y fecha programada de seguimiento para verificar el avance
9	Responsable del seguimiento	Persona o área a cargo de verificar el cumplimiento de las acciones en las fechas establecidas
10	Cumplimiento	Estado de la acción: cumplida, en proceso o pendiente
11	Efectividad	Evaluación de la eficacia de la acción para reducir el riesgo o capitalizar la oportunidad; insumo para la reevaluación del nivel de riesgo

Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Análisis de Riesgos del SGI de la SDI-FIME-UANL (2021) e ISO 9001:2015.

Alcance institucional de la metodología

La Matriz de Análisis de Riesgos fue diseñada con una estructura modular que la hace aplicable en cualquier subdirección o departamento de la FIME, con independencia del tipo de proceso —académico, administrativo, de apoyo o estratégico—. Su implantación abarcó todos los procesos del SGI, cubriendo las distintas áreas de la Secretaría de Desarrollo Institucional. La cobertura del 100% de las actividades de cada proceso, requerida por la nueva metodología, representa un avance sustancial respecto al estado anterior en que los análisis presentaban lagunas en la identificación de riesgos para ciertas actividades de cada proceso.

Adicionalmente, la metodología incorporó un ciclo explícito de reevaluación del nivel de riesgo tras la aplicación de los controles y acciones de tratamiento, lo que permite verificar si las acciones tomadas resultan efectivas para reducir el riesgo o si se requieren ajustes adicionales. Este ciclo de reevaluación operacionaliza el principio de mejora continua del ciclo PHVA en el contexto específico de la gestión de riesgos, constituyendo el mecanismo que sostiene la madurez del análisis de riesgos en el SGI a lo largo del tiempo.



DISCUSIÓN

La causa raíz como problema de gestión del conocimiento organizacional

El hallazgo más relevante del análisis causal es que la no conformidad no fue un problema operativo puntual —un responsable que olvidó elaborar su análisis de riesgos—, sino una brecha sistémica de gestión del conocimiento generada por la reorganización institucional. Cuando el 80% de los responsables de proceso son nuevos integrantes de la estructura, el conocimiento tácito sobre las metodologías del SGC se pierde abruptamente, y si la organización no cuenta con mecanismos explícitos de transferencia metodológica, la brecha se materializa inevitablemente en no conformidades. Este hallazgo está en línea con la visión de Marde (2015), quien documentó que los beneficios de la ISO 9001 dependen, en gran medida, de que todos los niveles organizacionales comprendan y se apropien de sus metodologías.

El análisis confirma que el factor determinante no fue la ausencia de una metodología en el SGI, sino la falta de comunicación y apropiación de esa metodología por la nueva estructura. Esta distinción es crucial desde la perspectiva de las acciones correctivas: una solución que solo hubiera actualizado los documentos del SGI sin capacitar a los nuevos responsables habría resultado igualmente ineficaz. La solución adoptada —diseñar una metodología más clara, documentarla en un manual accesible y capacitar sistemáticamente a los nuevos responsables— atacó el problema en su origen, lo que explica el éxito de la intervención.

Efectividad del enfoque de proceso en el análisis de riesgos

La decisión de estructurar la nueva metodología con un enfoque de proceso —es decir, recorriendo sistemáticamente cada actividad del proceso para identificar los riesgos y oportunidades asociados— responde directamente a los requisitos de la norma ISO 9001:2015 y al principio de que el sistema de gestión de calidad debe gestionar los procesos y sus interacciones como un sistema, de modo que se pueda mejorar el desempeño global de la organización (CERTIFICACIÓN, 2018). Al exigir la cobertura del 100% de las actividades de cada proceso, la metodología elimina la posibilidad de que ciertos riesgos queden fuera del análisis por falta de sistematicidad, que fue precisamente la deficiencia señalada en el hallazgo de la auditoría.

La incorporación del ciclo de reevaluación del riesgo residual —un elemento que distingue esta metodología de enfoques más simples— permite verificar si los controles y acciones implementados resultan realmente efectivos. Esta característica operacionaliza el pensamiento basado en riesgos de ISO 9001:2015 no como una actividad documental puntual, sino como un ciclo de mejora continua aplicado específicamente a la gestión de riesgos, reforzando la integración entre el análisis de riesgos y la operación real de los procesos.

La herramienta Cinco Porqués y Un Cómo como instrumento de diagnóstico en IES

La aplicación de la herramienta Cinco Porqués y Un Cómo en el contexto universitario demostró ser igualmente eficaz que en sus contextos originales de manufactura (Journal of Production Research, 2013). Su capacidad para revelar causas sistémicas —en lugar de señalar responsables individuales— la convierte en un instrumento pertinente para el diagnóstico de no conformidades en IES, donde los problemas de calidad frecuentemente tienen raíces organizacionales complejas. La

Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

herramienta también sirvió para generar la evidencia documental que la norma ISO 9001:2015 exige respecto a la naturaleza de las no conformidades y las acciones aplicadas para resolverlas.

Un aspecto especialmente valioso de la herramienta Cinco Porqués y Un Cómo es que vincula el diagnóstico con la solución: la respuesta al '¿cómo?' generó directamente las cuatro actividades del Plan de Acción Correctiva, garantizando la coherencia entre causa raíz identificada y acciones diseñadas. Esta coherencia fue un factor clave en la aceptación y verificación exitosa del PAC por parte de los auditores internos y externos.

Implicaciones para la gestión de la calidad en IES

Los resultados de este estudio tienen implicaciones directas para otras IES con SGC certificados bajo ISO 9001:2015. En primer lugar, sugieren que los procesos de reorganización institucional deben considerarse como eventos generadores de riesgo para el SGC, requiriendo medidas proactivas de inducción metodológica para los nuevos responsables de proceso. En segundo lugar, evidencian que la efectividad de un SGC no depende únicamente del diseño de sus herramientas, sino de la comprensión y apropiación activa de dichas herramientas por parte de quienes las operan. Como señala Marde (2015), la percepción de valor del SGC por parte del personal es un factor determinante en su efectividad operativa.

Una limitación del estudio es su alcance institucional específico: los resultados corresponden a la SDI de la FIME-UANL y, aunque la Matriz de Análisis de Riesgos fue diseñada para aplicarse en todas las subdirecciones y departamentos de la facultad, su transferibilidad a otras IES requeriría adaptaciones al contexto organizacional de cada institución. Asimismo, el horizonte temporal del estudio es limitado, reportando el cierre del hallazgo en la Auditoría Interna No. 40, sin incluir seguimiento de largo plazo sobre la madurez de la gestión de riesgos en ciclos posteriores. Futuras investigaciones podrían explorar la replicabilidad de esta metodología en otras unidades académicas de la UANL, así como el desarrollo de indicadores de madurez específicos para la gestión de riesgos en IES certificadas bajo ISO 9001:2015.

CONCLUSIONES

El presente artículo ha documentado el proceso completo de diagnóstico, diseño, implementación y validación de una metodología de análisis de riesgos y oportunidades con enfoque de proceso para el SGI de la FIME-UANL. A partir de los resultados obtenidos, se formulan las siguientes conclusiones:

Primera. La herramienta Cinco Porqués y Un Cómo demostró ser un instrumento eficaz para el diagnóstico causal de la no conformidad, revelando que su origen no era un problema operativo puntual sino una brecha sistémica de gestión del conocimiento organizacional generada por la reorganización institucional que renovó al 80% de los responsables de proceso del SGI. Este diagnóstico fue determinante para diseñar acciones correctivas que atacaran el problema en su origen y no únicamente sus manifestaciones superficiales.

Segunda. El Plan de Acción Correctiva estructurado en cuatro actividades secuenciales —diseño metodológico, elaboración de manual, capacitación y actualización de análisis— demostró ser una estrategia eficaz y suficiente: las cuatro actividades alcanzaron el 100% de cumplimiento, el hallazgo



Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior

fue cerrado exitosamente en la Auditoría Interna No. 40 y la hipótesis de investigación fue confirmada.

Tercera. La Matriz de Análisis de Riesgos diseñada integra los requisitos de la cláusula 6.1 de ISO 9001:2015 en un instrumento estandarizado, modular y aplicable a cualquier proceso del SGI universitario, con cobertura del 100% de las actividades de cada proceso y un ciclo explícito de reevaluación del riesgo residual que operacionaliza la lógica de mejora continua en la gestión de riesgos.

Cuarta. Los resultados evidencian que la sostenibilidad de un SGC en IES requiere no solo instrumentos metodológicos adecuados, sino también procesos sistemáticos de inducción y capacitación que garanticen la transferencia del conocimiento metodológico ante cambios en la estructura organizacional. La gestión de la calidad es, en último término, una práctica que se construye con personas.

Quinta. El paradigma de investigación-acción se confirma como un diseño metodológico pertinente para abordar problemas de implementación de SGC en IES, dado que permite generar conocimiento aplicado en tiempo real y producir transformaciones verificables en la organización estudiada.

Se recomienda que las IES con SGC certificados bajo ISO 9001:2015 incorporen formalmente la inducción metodológica al SGI —incluyendo la gestión de riesgos— como parte de los procesos de incorporación de nuevos responsables de proceso, gestionando proactivamente el riesgo de pérdida de conocimiento institucional ante cambios estructurales. Asimismo, se recomienda utilizar los ciclos de auditoría interna como instrumentos proactivos de mejora continua, potenciando su función diagnóstica más allá del control y la verificación documental.

REFERENCIAS

- Bisgaard, S. (2008). Quality management and the legacy of Juran. *Quality Engineering*, 20(1), 13–25.
- Campbell, J. P. (2018). ISO 9001:2015: The evolution and convergence of quality management and knowledge management for competitive advantage. *Quality Engineering*, 30(1), 1–15.
- CERTIFICACIÓN, I. C. (2018). *Gestión del Riesgo – Directrices NTC ISO 31000:2018*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Dean, J. W., & Bowen, D. E. (1994). El papel de los gerentes de calidad en las organizaciones contemporáneas. *Total Quality Management & Business Excellence*, 13(2), 394.
- Excellence, T. Q. (2019). Assessment of ISO 9001:2015 implementation: Focus on risk management approach requirements compliance in an automotive company. *Total Quality Management & Business Excellence*, 30(sup1), 1–15.
- Journal of Production Research. (2013). Mejora continua en la planta de fabricación de Toyota: aplicaciones de herramientas de resolución de problemas. *International Journal of Production Research*, 51(23), 7100–7117.
- Madzík, M. H. (2015). A 3D view of issues of quality in higher education. *Total Quality Management & Business Excellence*, 26(3–4), 294–306.



**Mejora metodológica para el análisis y gestión de riesgos y oportunidades bajo
ISO 9001:2015 en una Institución de Educación Superior**

- Marde, S. (2015). The contribution of ISO 9001 to certified companies: Manager and employee perceptions. *Quality Management Journal*, 22(4), 45–61.
- Paor, C. de. (2016). The contribution of professional accreditation to quality assurance in higher education. *Quality in Higher Education*, 22(2), 179–194.
- Reid, R. A., Koljonen, E. L., & Buell, B. (1999). El ciclo Deming ofrece un marco para la gestión del proceso medioambientalmente responsable. *Quality Engineering*, 11(2), 16.
- Shah, A. P. (2016). Defining the quality of higher education around ethics and moral values. *Quality in Higher Education*, 22(3), 211–226.
- Solis Reyes, O. D. (2021). Mejora en el análisis para la gestión de riesgos y oportunidades para ISO 9001:2015 [Tesis de Ingeniería Mecánico Eléctrica]. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Sónia Cardoso, M. J., Rosa, M. J., & Santos, C. S. (2015). Why is quality in higher education not achieved? *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 40(6), 893–909.
- Ying-Kei Tse, & Kim Hua Tan. (2011). Managing product quality risk in a multi-tier global supply chain. *International Journal of Production Research*, 49(1), 139–158



La Inclusión Educativa de Estudiantes con Necesidades Especiales en los Niveles Medio y Superior: Retos y Estrategias

Educational Inclusion of Students with Special Educational Needs at Secondary and Higher Education Levels: Challenges and Strategies

Andrés Eduardo Rivas Cisneros ¹
Alejandro Villarreal Peña ²
Melissa Glikowski Castro ³
Ingrid Vanessa Colunga Bernal ⁴

RESUMEN

La inclusión educativa de estudiantes con necesidades especiales de aprendizaje en los niveles medio y superior representa un desafío fundamental para garantizar la equidad, la participación y el aprendizaje significativo. El presente artículo tiene como objetivo analizar los principales retos y estrategias vinculados con la implementación de prácticas inclusivas desde la perspectiva docente. La investigación se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, con un diseño no experimental y transversal. Se aplicó una encuesta a 33 docentes de nivel medio y superior con experiencia en la atención a estudiantes con necesidades educativas especiales. Los resultados evidencian una actitud mayoritariamente positiva hacia la inclusión educativa; no obstante, se identifican importantes barreras relacionadas con la formación docente, la disponibilidad de recursos didácticos y tecnológicos, la infraestructura escolar y la limitada colaboración entre docentes. Asimismo, se observa que la aplicación sistemática de adaptaciones curriculares y metodologías inclusivas aún es incipiente, lo que restringe el desarrollo pleno del alumnado. A partir de estos hallazgos, se proponen estrategias orientadas al fortalecimiento de la capacitación docente, la flexibilización curricular, el uso de tecnologías educativas y la consolidación de entornos de aprendizaje accesibles y equitativos. Se concluye que la educación inclusiva requiere un compromiso institucional integral que favorezca la construcción de una cultura escolar inclusiva y garantice una educación de calidad para todos.

PALABRAS CLAVES: educación inclusiva, necesidades educativas especiales, formación docente, equidad educativa.

¹ Doctor en Educación, Maestría en Administración Industrial y de Negocios con Orientación en Relaciones Industriales y Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Automatización. Profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Nuevo León, arivasc@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0004-2243-8991>

² Director de la Preparatoria No. 9 de la UANL, Doctor en Educación, Maestría en Docencia con Orientación en Educación Media Superior, Ingeniero Civil y Profesor de tiempo completo de la Preparatoria No. 9 de la UANL, alejandrovillarrealpe@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0001-5684-5227>

³ Doctora en Educación, Maestría en Métodos Alternos y Solución de Controversias, Licenciada en Derecho, Profesora de medio tiempo de la Preparatoria No. 9 de la Universidad Autónoma de Nuevo León, melissa.glikowskicst@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0001-8344-7865>

⁴ Doctora en Educación, Maestría en Métodos Alternos y Solución de Controversias, Licenciada en Biotecnología Genómica. Profesora de medio tiempo de la Preparatoria No. 9 de la Universidad Autónoma de Nuevo León, icolungab@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0001-4903-7619>



Fecha de recepción: 10 de marzo, 2026.

Fecha de aceptación: 27 de abril, 2026.

ABSTRACT

The educational inclusion of students with special learning needs at high school and college education level, represent a fundamental challenge in ensuring equity, participation, and meaningful learning. The purpose of this article is to analyze the main challenges and strategies related to the implementation of inclusive practices from a teaching perspective. The research was conducted using a mixed methodological approach, with a non-experimental and cross-sectional design. A survey was administered to 33 teachers with experience in supporting students with special educational needs. The results show a predominantly positive attitude toward educational inclusion; however, significant barriers were identified, including teacher training, the availability of instructional and technological resources, school infrastructure, and limited collaboration among teachers. Likewise, it was observed that the systematic implementation of curricular adaptations and inclusive methodologies is still incipient, which restricts the full development of students. Based on these findings, strategies are proposed aimed at strengthening teacher training, promoting curricular flexibility, increasing the use of educational technologies, and consolidating accessible and equal learning environments. It is concluded that inclusive education requires comprehensive institutional commitment that favors the development of an inclusive school culture and guarantees quality education for all.

KEYWORDS: inclusive education, special educational needs, teacher training, educational equity.

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de la educación, la inclusión de estudiantes con necesidades educativas especiales se ha convertido en una de las principales prioridades de las instituciones educativas, con el propósito de promover la igualdad de oportunidades y garantizar una equidad en el aprendizaje significativo para todos los estudiantes. Sin embargo, a pesar de los múltiples esfuerzos realizados por diversas instituciones, los estudiantes con necesidades especiales continúan enfrentando importantes retos que limitan su acceso a recursos y estrategias pedagógicas efectivas. La falta de adaptación curricular, la insuficiencia de tecnologías y herramientas de apoyo, así como la escasa capacitación docente, representan algunos de los principales obstáculos para lograr una inclusión educativa efectiva.

Cabe mencionar que, aunque en la actualidad la inclusión de alumnos con necesidades especiales ya forma parte de las dinámicas escolares, muchos modelos académicos de enseñanza no han sido adaptados ni modernizados para atender las diversas y complejas necesidades de aprendizaje del alumnado. Esta situación restringe la participación de los estudiantes en los entornos y actividades de aprendizaje convencionales.

Además, no solo los estudiantes enfrentan estas dificultades, sino también los docentes que imparten las asignaturas en el aula. La carencia de programas de formación enfocados en la atención a la diversidad, así como la falta de recursos y tecnologías educativas, limita el desarrollo de prácticas pedagógicas inclusivas que favorezcan el aprendizaje integral de todos los alumnos.

La Inclusión Educativa de Estudiantes con Necesidades Especiales en los Niveles Medio y Superior: Retos y Estrategias

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica por la necesidad urgente de fortalecer los procesos de inclusión educativa dirigidos a estudiantes con necesidades especiales de aprendizaje dentro de los entornos escolares. A pesar de los distintos avances en materia educativa para la inclusión, aún persisten importantes barreras que dificultan la participación plena y el aprendizaje significativo de este grupo estudiantil.

Asimismo, este estudio resulta pertinente desde el ámbito docente, ya que busca contribuir a la implementación de estrategias didácticas innovadoras que respondan a la diversidad de estilos y ritmos de aprendizaje presentes en el aula. De esta manera, se pretende favorecer el desarrollo integral de los estudiantes y promover prácticas docentes más equitativas e inclusivas.

Fortalecer la inclusión de estudiantes con necesidades especiales de aprendizaje contribuye a la construcción de una sociedad más justa e igualitaria basada en el respeto, la equidad y la valoración de la diversidad, lo cual impacta positivamente en la convivencia, la integración social y la reducción de la exclusión educativa.

Los resultados de este estudio podrán servir como referente para la toma de decisiones, el diseño de programas de capacitación docente y la adecuación curricular, favoreciendo la mejora continua de los procesos educativos y el fortalecimiento de las políticas de inclusión en las instituciones escolares.

La educación inclusiva en los niveles medio y superior busca garantizar la enseñanza-aprendizaje a la diversidad de estudiantes que se presentan en el contexto educativo hoy en día, la inclusión de estudiantes con necesidades especiales no solo se refiere a la integración de estudiantes neurodivergentes y con discapacidades físicas en el aula, sino también a la implementación de un proceso que establezca estrategias pertinentes para la implementación efectiva de una educación inclusiva de calidad.

Un modelo educativo inclusivo demanda un enfoque flexible que se adapte a las necesidades individuales de los estudiantes neurodivergentes, lo cual implica transformar el entorno educativo, las estrategias de aprendizaje, así como la formación docente, Vélez-Miranda et al., (2020), conciben a la inclusión como un conjunto de acciones que permite abordar y responder a la diversidad de las necesidades de todos los estudiantes otorgándoles mayor participación en el aprendizaje, actividades culturales y comunitarias.

La educación inclusiva se configura como un paradigma que valora la diversidad en las aulas, programando e implementando propuestas educativas que fomentan la equidad (UNESCO, 2020). Esta inclusión educativa resulta fundamental para establecer entornos equitativos de aprendizaje, los cuales permitan que los estudiantes logren un desarrollo integral.

Para promover eficazmente la educación inclusiva, es imprescindible identificar y suprimir las barreras que interfieren con la presencia, la participación y el progreso de todo el alumnado en las aulas ordinarias (Muntaner, 2013).

HIPOTESIS

La implementación de estrategias de aprendizaje innovadoras e inclusivas favorecerá la atención a la diversidad de necesidades educativas en el aula, mejorando la participación, el desempeño académico y el aprendizaje significativo de los estudiantes.

METODOLOGÍA

La presente investigación presenta métodos cuantitativos y cualitativos, lo que permiten un análisis integral de las necesidades educativas en el nivel medio y superior, su diseño metodológico es no



La Inclusión Educativa de Estudiantes con Necesidades Especiales en los Niveles Medio y Superior: Retos y Estrategias

experimental y de tipo transversal, ya que los datos fueron recolectados en un solo momento sin manipulación deliberada de las variables, observando fenómenos en su contexto.

Los criterios de inclusión consideraron a docentes de ambos niveles educativos, los cuales hayan trabajado con estudiantes con necesidades especiales dentro del aula, analizando si consideran tener el conocimientos, estrategias y herramientas pertinentes que les permita lograr el éxito y calidad en la educación inclusiva.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los hallazgos obtenidos mediante la encuesta diseñada para evaluar el impacto y la percepción de estrategias educativas inclusivas en el aula.

El objetivo fue obtener datos relevantes a través de los docentes para analizar los retos de la inclusión de estudiantes neurodivergentes en el aula.

Los resultados indican que existe una valoración positiva hacia las estrategias inclusivas tanto por docentes como por estudiantes. Sin embargo, la implementación enfrenta desafíos relacionados con la capacitación, los recursos disponibles y el tiempo de planificación.

Además, la disposición de los docentes para capacitarse en esta área sugiere una oportunidad para fortalecer el enfoque inclusivo mediante programas de formación y políticas educativas que promuevan prácticas accesibles.

Resalta la importancia de continuar fortaleciendo las estrategias educativas inclusivas en el aula. A pesar de los avances, es fundamental abordar las barreras existentes para garantizar una educación de calidad y equitativa para todos los estudiantes.

Los hallazgos serán útiles para las estrategias que se plantean más adelante las cuales buscan respondan a las necesidades identificadas y promuevan una mayor inclusión en el entorno escolar.

Los resultados de esta encuesta ofrecen una visión integral sobre la percepción, el conocimiento y las prácticas relacionadas con la educación inclusiva entre los 33 docentes de nivel medio y superior encuestados.

A continuación, se interpreta cada pregunta en contexto:

1. Formación en educación inclusiva

Sí, durante mi formación docente: 6 respuestas

Sí, en cursos o talleres específicos: 24 respuestas (73%)

No, nunca he recibido formación: 3 respuestas

La mayoría de los encuestados (73%) ha recibido formación a través de cursos o talleres específicos, mientras que solo una minoría (6 personas) lo hizo durante su formación docente formal.

Esto evidencia que la capacitación inicial en educación inclusiva no está generalizada en los programas docentes, aunque los talleres se han convertido en una vía clave de formación.

2. Conocimiento sobre estrategias de enseñanza inclusiva

Escala de 1 a 5:

Muy bajo (1): 1 respuesta



La Inclusión Educativa de Estudiantes con Necesidades Especiales en los Niveles Medio y Superior: Retos y Estrategias

Bajo (2): 2 respuestas

Medio (3): 23 respuestas

Alto (4): 6 respuestas

Muy alto (5): 1 respuesta

La mayoría (23 respuestas) calificó su conocimiento como "medio", mientras que solo unas pocas personas se consideran con conocimientos altos o muy altos (7 respuestas en total).

Esto sugiere una percepción general de suficiencia básica pero no avanzada en este ámbito.

3. Opinión sobre la inclusión de estudiantes con necesidades educativas especiales

Totalmente de acuerdo: 14 respuestas

De acuerdo: 9 respuestas (27%)

Neutral: 7 respuestas

En desacuerdo: 3 respuestas

Totalmente en desacuerdo: 0 respuestas

Un 70% está "totalmente de acuerdo" o "de acuerdo" con la inclusión, mientras que una minoría (3 personas) está en desacuerdo.

Esto muestra una aceptación mayoritaria de la inclusión, aunque con un segmento neutral o menos convencido que podría reflejar dudas sobre su implementación efectiva.

4. Impacto de la inclusión en el desarrollo social y académico

Sí, completamente: 14 respuestas (42%)

Sí, en cierta medida: 18 respuestas

No estoy seguro/a: 0 respuestas

No, no lo creo: 1 respuesta

La mayoría (42%) cree que la inclusión beneficia a todos los estudiantes en diversos grados, lo que refuerza una percepción positiva. Solo 1 persona considera que no mejora el desarrollo.

5. Preparación de las escuelas para la educación inclusiva

Sí, totalmente preparadas: 0 respuestas

Sí, pero con algunas limitaciones: 17 respuestas

No, pero podrían estarlo con recursos adecuados: 15 respuestas

No, no están preparadas en absoluto: 1 respuesta

Nadie considera que las escuelas estén completamente preparadas, y la mayoría cree que enfrentan limitaciones o necesitan recursos adicionales. Esto refleja una percepción de que las condiciones actuales son insuficientes para implementar plenamente la inclusión.

6. Uso de adaptaciones curriculares

Siempre: 4 respuestas

La Inclusión Educativa de Estudiantes con Necesidades Especiales en los Niveles Medio y Superior: Retos y Estrategias

A menudo: 11 respuestas

A veces: 10 respuestas

Rara vez: 7 respuestas

Nunca: 1 respuesta

Solo una minoría utiliza adaptaciones curriculares de forma constante (4 respuestas), mientras que la mayoría lo hace ocasionalmente o rara vez. Esto puede reflejar limitaciones de tiempo, recursos o formación en estrategias inclusivas.

7. Apoyo adicional necesario

Formación adicional: 16 respuestas

Recursos didácticos: 19 respuestas

Apoyo de especialistas: 23 respuestas

Menor número de estudiantes por aula: 14 respuestas

Otro: 2 respuestas

El apoyo de especialistas (23 respuestas) y los recursos didácticos (19 respuestas) son las demandas más destacadas, lo que indica que los docentes buscan soporte práctico y profesional para mejorar su práctica inclusiva.

8. Colaboración con otros docentes

Siempre: 2 respuestas

A menudo: 4 respuestas

A veces: 9 respuestas

Rara vez: 14 respuestas

Nunca: 0 respuestas

La colaboración entre docentes es baja: solo 6 personas colaboran de forma habitual ("siempre" o "a menudo"). Esto sugiere que las estrategias inclusivas no se diseñan de manera colectiva en la mayoría de los casos, lo que podría limitar su efectividad.

9. Principales obstáculos para implementar la educación inclusiva en sus escuelas

La mayoría de los encuestados (23) señala que la falta de formación docente es el desafío más importante. Esto pone de manifiesto la necesidad de capacitar a los docentes para que puedan aplicar estrategias inclusivas de manera efectiva. La falta de conocimiento especializado puede limitar la confianza y la habilidad de los maestros para atender las necesidades diversas de sus estudiantes.

El exceso de tareas administrativas aparece como el segundo mayor desafío. Esto indica que los docentes sienten que sus responsabilidades administrativas les dejan poco tiempo o energía para enfocarse en la implementación de prácticas inclusivas. Este factor puede generar frustración y reducir la eficacia en el aula.

La falta de recursos, como materiales didácticos adaptados, tecnología asistida o infraestructura adecuada, es otro obstáculo significativo. Sin los recursos necesarios, la implementación de la



La Inclusión Educativa de Estudiantes con Necesidades Especiales en los Niveles Medio y Superior: Retos y Estrategias

educación inclusiva puede ser incompleta y dificultar el cumplimiento de las necesidades específicas de los estudiantes.

Aunque no es el desafío principal, las actitudes negativas hacia la inclusión reflejan una resistencia cultural o institucional que puede obstaculizar el avance. Esto podría deberse a prejuicios, desconocimiento o temor al cambio, lo que subraya la necesidad de sensibilizar y formar tanto al personal educativo como a las comunidades escolares.

Los resultados indican que los mayores retos son estructurales y profesionales: la formación docente y los recursos insuficientes. Además, factores como las actitudes negativas y la carga administrativa contribuyen a complicar el panorama. Para superar estos desafíos, sería fundamental invertir en programas de formación, reducir las cargas administrativas y garantizar recursos adecuados, además de promover una cultura escolar inclusiva.

En general, hay una actitud mayoritariamente positiva hacia la inclusión y cierto nivel de conocimiento básico, existen importantes desafíos en cuanto a recursos, formación y colaboración docente. Las escuelas necesitan un apoyo estructural significativo para implementar la educación inclusiva de manera efectiva. Los resultados reflejan un interés en mejorar, pero también una brecha entre las aspiraciones y las condiciones actuales.

ESTRATEGIAS Y RECOMENDACIONES

Castillo Briceño, (2015), enfatiza que la formación de los docentes debe girar en torno a los ámbitos pedagógicos, psicológicos e ideológicos para atender la diversidad, construir diferentes escenarios de aprendizaje y garantizar una educación con componentes de educación inclusiva y de calidad.

Capacitación docente:

1. Desarrollar programas de capacitación obligatorios de inclusión educativa dentro de las dependencias, donde se brinde información pertinente acerca de estrategias y forma de atención a los estudiantes de educación inclusiva.
2. Establecer redes de apoyo y aprendizaje entre docentes las cuales permitan compartir estrategias, practicas docentes o asesorías para la atención de la educación inclusiva.
3. Brindar formación digital y estrategias pedagógicas para brindar una equidad a la diversidad de estudiantes en el aula.

Infraestructura educativa:

1. Brindar equipamiento tecnológico y digital que permita un aprendizaje inclusivo (plataformas, medios digitales, etc.)

Currículo flexible:

1. Incluir metodologías de aprendizaje que permitan a los estudiantes desarrollar sus conocimientos de manera óptima.
2. Establecer dentro del currículum una evaluación igualitaria y equitativa de acuerdo con las necesidades de los estudiantes de educación inclusiva.

Otros elementos:

1. Implementar plataformas digitales accesibles para los estudiantes con necesidades especiales.

La Inclusión Educativa de Estudiantes con Necesidades Especiales en los Niveles Medio y Superior: Retos y Estrategias

2. Generar recursos multimedia para el aprendizaje de los estudiantes de educación inclusiva.
3. Involucrar a familiares y personal de la organización educativa en el proceso educativo de los estudiantes con necesidades especiales.

CONCLUSIÓN

La educación inclusiva no solo representa un derecho fundamental, sino que constituye un eje esencial para la construcción de sociedades equitativas, justas y sostenibles. Los hallazgos de este estudio evidencian que, a pesar de los avances logrados en la implementación de estrategias inclusivas, persisten desafíos significativos relacionados con la formación y actualización docente, la disponibilidad de recursos didácticos y tecnológicos, así como el diseño de currículos flexibles y adaptados a la diversidad del alumnado. Estas limitaciones afectan directamente la calidad del proceso educativo y restringen la participación y el aprendizaje significativo de los estudiantes con necesidades educativas especiales.

En este sentido, resulta indispensable fortalecer las políticas institucionales orientadas a la inclusión, promoviendo programas de capacitación continua para los docentes y garantizando condiciones adecuadas de infraestructura y accesibilidad.

Asimismo, la adopción de metodologías pedagógicas innovadoras y centradas en el estudiante permitirá la creación de entornos de aprendizaje inclusivos, participativos y equitativos, favoreciendo el desarrollo integral del alumnado.

Finalmente, se concluye que la inclusión educativa debe asumirse como un compromiso colectivo que involucre a docentes, directivos, familias y comunidad, con el fin de consolidar un sistema educativo que valore la diversidad como un elemento enriquecedor. Solo a través de una acción coordinada y sostenida será posible avanzar hacia una educación de calidad para todos, que promueva la igualdad de oportunidades y el pleno desarrollo académico, social y emocional de los estudiantes.

REFERENCIAS

- Castillo Briceño, C. (2015). La educación inclusiva y lineamientos prospectivos de la formación docente: una visión General Curriculum. *TEACHING Ex-ceptional Children*, 35(2), 8–17. <https://doi.org/10.1177/004005990203500201>
- Muntaner, J. J. (2013). Calidad de vida en la escuela inclusiva. *Revista Iberoamericana de Educación*, 63, 35-49. <https://doi.org/10.35362/rie630421>
- Vélez-Miranda, M. J., San Andrés Laz, E. M., & Pazmiño-Campuzano, M. F. (2020). Inclusión y su importancia en las instituciones educativas desde los mecanismos de integración del alumnado. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 5(9), 5. <https://doi.org/10.35381/r.k.v5i9.554>
- UNESCO (2020). *Global Education Monitoring Report 2020: Inclusion and education: All means all*. UNESCO.



Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

Social impact of the COVID-19 pandemic on the training of Mechanical Engineers in Management

Jesús Alejandro Quiroz Aguilar ¹
Ana María González Ibarra ²
Nivia Tomasa Álvarez Aguilar ³
Rolando Rodríguez González ⁴

RESUMEN

La formación universitaria del Ingeniero Mecánico Administrador experimentó cambios significativos en el aspecto social debido al confinamiento por COVID-19, modificando las dinámicas de convivencia, comunicación y acompañamiento académico. El objetivo del estudio fue analizar el impacto social de la pandemia en estudiantes de la FIME-UANL. Se realizó una investigación cuantitativa, no experimental, transversal y descriptiva, con una muestra por conveniencia de 135 alumnos (67% hombres y 33% mujeres). Se aplicó un cuestionario en Google Forms con 16 reactivos cerrados, difundido por Teams y WhatsApp en abril de 2025. Los resultados evidenciaron un aumento en el uso de redes sociales, una disminución en la interacción entre compañeros (63%) y un incremento en el sentimiento de aislamiento social (78%), confirmando una reconfiguración significativa de la experiencia universitaria.

PALABRAS CLAVES: COVID-19, impacto social, estudiantes universitarios, aislamiento, educación virtual.

Fecha de recepción: 13 de marzo, 2026.

Fecha de aceptación: 28 de abril, 2026.

¹ Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, jquiroza@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-1044-02833>

² Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ana.mariaib@uanl.edu.mx, <http://orcid.org/0000-0002-2117-7476>

³ Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, nivia.alvarezagl@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0003-4110-8862>

⁴ Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, rodriguezqz@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0001-1832-1991>

Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

ABSTRACT

The university education of Mechanical Engineers in Management experienced significant social changes due to the COVID-19 lockdown, altering dynamics of interaction, communication, and academic support. The objective of this study was to analyze the social impact of the pandemic on students at FIME-UANL. A quantitative, non-experimental, cross-sectional, and descriptive research design was employed, using a convenience sample of 135 students (67% male and 33% female). A questionnaire with 16 closed-ended items was administered through Google Forms and distributed via Teams and WhatsApp in April 2025. The results revealed an increase in social media use, a decrease in peer interaction (63%), and a rise in feelings of social isolation (78%), confirming a significant reconfiguration of the university social experience.

KEYWORDS: COVID-19, social impact, university students, social isolation, virtual education.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno global más disruptivo de las últimas décadas fue la pandemia de COVID-19. No solo afectó a la economía global y los sistemas sanitarios, sino que también alteró los procesos educativos y los patrones sociales en todos los grados educativos. Las medidas de confinamiento y distanciamiento físico adoptadas por los gobiernos generaron una transformación abrupta de la vida cotidiana, modificando rutinas, formas de interacción y estructuras organizativas previamente establecidas. En el ámbito de la educación superior, esta disrupción implicó el cierre masivo de instituciones educativas y la migración acelerada hacia modalidades virtuales, afectando a más del 90% de la población estudiantil mundial (UNESCO, 2020).

Existe una percepción generalizada de que el principal impacto del confinamiento se concentró en el rendimiento académico; sin embargo, diversos estudios advierten que las repercusiones sociales y socioemocionales fueron igualmente significativas, afectando la interacción entre pares, la comunicación docente-estudiante y la integración universitaria (Balluerka Lasa et al., 2020; Wang et al., 2020).

Si bien la prioridad institucional se centró inicialmente en garantizar la continuidad académica mediante el uso de plataformas digitales, pronto se hizo evidente que la pandemia trascendía el plano técnico-pedagógico. La universidad no es únicamente un espacio de transmisión de conocimientos especializados; constituye también un entorno social donde se configuran identidades profesionales, se construyen redes de apoyo y se desarrollan habilidades interpersonales esenciales para la vida laboral y ciudadana. En este sentido, la experiencia universitaria integra dimensiones cognitivas, emocionales y sociales que se articulan de manera inseparable (Marinoni et al., 2020).

La reducción del contacto presencial, la pérdida de rutinas académicas y la migración forzada a modalidades virtuales alteraron la construcción cotidiana de vínculos y redes de apoyo, elementos esenciales en el desarrollo profesional. En población universitaria, el aislamiento social se asoció con alteraciones en la conducta, disminución de la motivación y debilitamiento de la interacción académica (Delbon et al., 2020). Estos hallazgos evidencian que la reducción del contacto presencial no solo modifica la dinámica educativa, sino que impacta directamente el bienestar socioemocional del estudiantado.

Desde la perspectiva de las representaciones sociales, los individuos construyen significados compartidos que orientan su comportamiento en contextos de crisis (Jodelet, 1986; Marková, 2017). En escenarios de emergencia sanitaria, estas representaciones se reconfiguran a partir de la



Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

información disponible, el miedo al contagio y las experiencias colectivas de incertidumbre. El confinamiento, al alterar los espacios habituales de interacción, influyó en la manera en que los estudiantes percibieron su entorno académico, su rol dentro de la comunidad universitaria y su sentido de pertenencia institucional (Páez & Pérez, 2020).

En América Latina, la transición abrupta hacia la virtualidad evidenció desigualdades estructurales relacionadas con el acceso a conectividad, dispositivos tecnológicos y condiciones adecuadas de estudio (Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y el Caribe [IESALC], 2020; Pérez et al., 2020). Estas brechas no solo incidieron en la continuidad académica, sino también en la participación, la comunicación efectiva y la integración social en entornos digitales. La migración forzada a plataformas virtuales modificó los canales tradicionales de interacción entre estudiantes y docentes, generando tensiones en el acompañamiento formativo y en la calidad de la relación académica.

En este marco, el equipo docente se expuso como un actor fundamental para que la experiencia educativa sea sostenible. La adaptación a la enseñanza virtual requirió no solo competencias tecnológicas, sino también estrategias pedagógicas capaces de mantener el vínculo académico y social con los estudiantes (Marinoni et al., 2020). La percepción estudiantil sobre la preparación docente y su capacidad de adaptación se convirtió, así, en un indicador relevante del impacto social del confinamiento. Cuando la comunicación y el acompañamiento se perciben como insuficientes, el sentimiento de aislamiento puede intensificarse, afectando la motivación y el compromiso académico.

Por lo general en las carreras de ingeniería, la dimensión social adquiere un valor estratégico. La formación del Ingeniero Mecánico Administrador tradicionalmente se apoya en el trabajo colaborativo, la resolución conjunta de problemas, el desarrollo de proyectos en equipo y la interacción constante en laboratorios y espacios académicos compartidos. Estos entornos favorecen la construcción de identidad profesional, el fortalecimiento del liderazgo y el desarrollo de habilidades comunicativas esenciales para el desempeño en contextos organizacionales. La suspensión de estas dinámicas presenciales pudo haber debilitado procesos fundamentales para la formación integral del estudiante.

Además, se puede entender como un mecanismo de compensación frente a la disminución del contacto físico el aumento de la utilización de las redes sociales durante el confinamiento. Sin embargo, la interacción digital no reemplaza de manera obligatoria la calidad de las relaciones que se forman en espacios presenciales. Investigaciones recientes indican que la socialización digital puede convivir con emociones duraderas de aislamiento y desconexión emocional (Vidal Ledo et al., 2021). En esta línea, la evaluación de las repercusiones sociales de la pandemia tiene que tener en cuenta tanto los cambios en los modos de interacción como sus consecuencias sobre el bienestar socioemocional.

La pandemia también evidenció la necesidad de fortalecer la resiliencia institucional y estudiantil. La resiliencia, entendida como la capacidad de adaptarse positivamente ante la adversidad, se vincula estrechamente con el apoyo social, la comunicación efectiva y la percepción de pertenencia (Grotberg, 2006; Ospina & Sarmiento, 2010). En ausencia de redes de apoyo sólidas, los efectos del aislamiento pueden intensificarse, generando mayor vulnerabilidad emocional.

En el contexto específico de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), resulta pertinente analizar cómo el confinamiento transformó la dimensión social de la experiencia universitaria en estudiantes de Ingeniero Mecánico Administrador. Dado que una proporción significativa del alumnado se encontraba en los primeros semestres durante la pandemia la cual es considerada una etapa clave para la integración y construcción de identidad académica, la reducción de la convivencia presencial pudo haber impactado de manera más profunda su proceso formativo. Es por ello por lo que al examinar la dimensión social de la



Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

educación superior en épocas de crisis es una labor esencial para reconsiderar el rol de la universidad como un lugar para la interacción humana, la creación compartida del saber y el crecimiento integral del alumno. La vivencia que trae el confinamiento por COVID-19 brinda una ocasión para pensar de manera crítica sobre lo crucial que es la convivencia, la comunicación y el sentido de comunidad en la formación profesional actual.

A partir de lo anterior, el presente estudio se orienta a analizar el impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador, identificando cambios en la interacción entre compañeros, en el sentido de pertenencia institucional, en la socialización digital y en la percepción del acompañamiento docente. Comprender estas transformaciones permite no solo dimensionar las consecuencias del confinamiento, sino también generar propuestas orientadas a fortalecer la cohesión social universitaria, diseñar modelos educativos híbridos más equilibrados y promover estrategias de apoyo socioemocional ante posibles contingencias futuras.

DESARROLLO

Diseño.

El presente estudio adoptó un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental, transversal y de alcance descriptivo (Hernández-Sampieri et al., 2014), con el propósito de identificar y analizar el impacto social derivado del confinamiento por COVID-19 en estudiantes de la carrera de Ingeniero Mecánico Administrador de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). El estudio es de carácter descriptivo, debido a que busca detallar y sistematizar las percepciones estudiantiles respecto a la reconfiguración de la convivencia universitaria, la interacción entre pares y el acompañamiento docente durante la modalidad virtual. Este se orientó a describir cómo el confinamiento transformó la experiencia social universitaria, considerando dimensiones como: reducción de interacción presencial, incremento en el uso de redes sociales, percepción del acompañamiento docente y sentimiento de aislamiento.

Participantes.

La muestra fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia (Hernández-Sampieri et al., 2014), conformada por 135 estudiantes activos de la carrera de Ingeniero Mecánico Administrador de la UANL. La selección respondió a criterios de accesibilidad y disponibilidad de los participantes al momento de la aplicación del instrumento.

Del total de participantes, el 67% correspondió al género masculino (90 estudiantes) y el 33% al género femenino (45 estudiantes). La mayor representación se concentró en estudiantes de primer a tercer semestre, etapa formativa relevante para el análisis del impacto social, dado que en estos niveles se fortalecen procesos de integración académica, construcción de identidad profesional y sentido de pertenencia institucional. La elección de esta población se fundamenta en que los estudiantes de ingeniería desarrollan gran parte de su formación a través de actividades colaborativas, proyectos grupales y dinámicas presenciales que favorecen la interacción constante.

Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

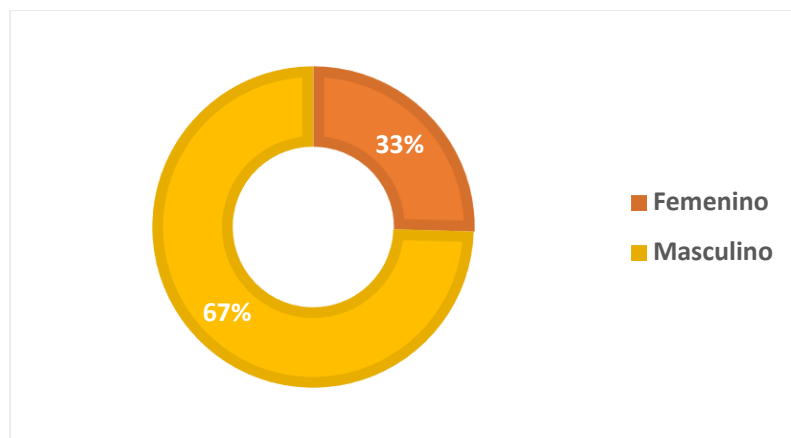


Figura 1. Distribución de participantes por género.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del cuestionario 2025.

Técnica de recolección.

La técnica utilizada para la recolección de datos fue la encuesta estructurada, aplicada mediante la plataforma Google Forms. Este instrumento permitió obtener información estandarizada sobre percepciones, hábitos y experiencias sociales durante el confinamiento (Hernández-Sampieri et al., 2014). El cuestionario estuvo conformado por 16 reactivos cerrados, diseñados para facilitar respuestas claras y rápidas, incorporando escalas de frecuencia (siempre, a veces, nunca) y opciones de variación (aumentó, se mantuvo, disminuyó).

Las preguntas se orientaron a explorar indicadores vinculados con el impacto social del confinamiento en tres dimensiones principales:

Tabla 1. Indicadores

INDICADOR	DESCRIPCION.
RECONFIGURACIÓN DE LA CONVIVENCIA UNIVERSITARIA	Cambios en la interacción entre compañeros y el sentido de pertenencia institucional.
SOCIALIZACIÓN DIGITAL	Incremento en el uso de redes sociales y la modificación de hábitos asociados a la convivencia presencial.
ACOMPañAMIENTO DOCENTE PERCIBIDO	Preparación académica, la adaptación tecnológica y la efectividad en la comunicación durante la modalidad virtual.

Fuente: Elaboración propia.

El instrumento fue difundido a través de grupos institucionales de Teams y WhatsApp (generales y de estudio) durante un periodo de siete días, en la primera semana de abril de 2025. La participación fue voluntaria y se garantizó el uso de la información exclusivamente con fines académicos y de análisis estadístico descriptivo.



Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

Procedimiento de recolección.

El proceso de recolección de datos se llevó a cabo en una única fase, correspondiente a la primera semana de abril de 2025. Previamente a la aplicación del instrumento, se realizó una revisión interna del cuestionario con el fin de verificar la claridad en la redacción de los reactivos, la coherencia entre las dimensiones analizadas y la pertinencia de las opciones de respuesta. El cuestionario fue elaborado en la plataforma Google Forms, lo que permitió su distribución digital y facilitó la recopilación automática de respuestas. El enlace del instrumento fue difundido a través de grupos institucionales de Microsoft Teams y WhatsApp, tanto generales como de estudio, conformados por estudiantes activos de la carrera de Ingeniero Mecánico Administrador de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

La participación fue completamente voluntaria y anónima. En la sección inicial del formulario se incluyó una breve explicación sobre los objetivos del estudio, así como una nota de consentimiento informado, donde se especificó que la información recopilada sería utilizada exclusivamente con fines académicos y de análisis estadístico descriptivo, garantizando la confidencialidad de los datos y la no identificación individual de los participantes. El instrumento permaneció disponible durante un periodo de siete días consecutivos, tiempo en el cual se obtuvieron 135 respuestas completas. Una vez concluido el plazo de aplicación, se procedió al cierre del formulario y a la exportación de los datos en formato Excel para su organización, depuración y posterior análisis descriptivo mediante la obtención de frecuencias y porcentajes.

Análisis de los datos.

Al obtener las respuestas después de dar por finalizado el periodo de aplicación del instrumento, fueron exportadas automáticamente desde la plataforma Google Forms en formato Excel. Posteriormente, se realizó una depuración inicial para verificar que todas las respuestas estuvieran completas, obteniéndose un total de 135 cuestionarios válidos.

Los datos fueron organizados en una matriz estructurada en Excel y se les asignaron categorías de acuerdo con cada dimensión examinada: interacción y convivencia universitaria, socialización digital y acompañamiento docente percibido. Con el propósito de no poner en riesgo la confidencialidad y a la vez mantener ordenados los datos, cada participante se identificó por medio de un código alfanumérico conformado por el número consecutivo de registro, seguido del semestre y del género.

Se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo utilizando el cálculo de frecuencias absolutas y porcentuales por reactivo. Se utilizaron tablas y gráficos para mostrar los resultados, con el fin de simplificar la interpretación de tendencias generales sobre el impacto social del confinamiento.

El estudio se enfocó en identificar patrones relacionados con:

- Disminución de interacción entre compañeros.
- Incremento en el sentimiento de aislamiento social.
- Afectación del sentido de pertenencia institucional.
- Aumento en el uso de redes sociales como mecanismo de compensación.
- Percepción del acompañamiento académico durante la modalidad virtual.

RESULTADOS

Los resultados se presentan considerando el análisis de cada reactivo que conformó la categoría centrada en el impacto social derivado del confinamiento por COVID-19 en la formación universitaria.

Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

Indicador 1. Reactivo orientado a la reconfiguración de la convivencia universitaria: ¿Durante el confinamiento disminuyó su interacción con compañeros?

Al analizar las respuestas relacionadas con la interacción entre pares, el 63% de los estudiantes indicó que su convivencia universitaria disminuyó durante la modalidad virtual, el 24% manifestó que se mantuvo igual y únicamente el 13% señaló que aumentó.

Estos resultados evidencian una reducción significativa en las dinámicas de socialización presencial, elemento fundamental en la construcción de identidad profesional y en el fortalecimiento de redes académicas de apoyo. (Figura 2.)

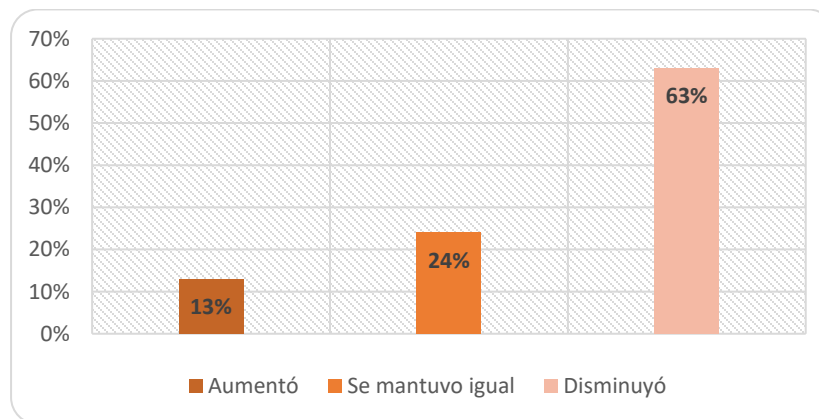


Figura 2. Disminución en la interacción entre compañeros.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del cuestionario 2025.

Indicador 1. Reactivo orientado a la reconfiguración de la convivencia universitaria: ¿Se sintió socialmente aislado durante la modalidad virtual?

En el segundo cuestionamiento, se indagó sobre la percepción del aislamiento social experimentado durante la modalidad virtual. Los resultados muestran que el 78% de los estudiantes manifestó haberse sentido aislado al menos “a veces”, de los cuales el 31% indicó que lo experimentó “siempre” y el 47% “a veces”, mientras que únicamente el 22% señaló que “nunca” se sintió aislado. Este hallazgo evidencia que el confinamiento no solo implicó una modificación logística en la modalidad educativa, sino una afectación directa en la dimensión relacional del estudiantado. La reducción del contacto presencial, la ausencia de espacios informales de convivencia como pasillos, laboratorios o áreas comunes; y la interacción mediada exclusivamente por pantallas generaron una ruptura en las dinámicas tradicionales de socialización universitaria. (Figura 3.)

De manera agregada, en los comentarios abiertos incluidos en el instrumento, algunos estudiantes expresaron percepciones como:

E12HS2 – “...aunque estaba conectado en clase no hablaba con nadie, era solo cumplir con la sesión y salir.”

Estas expresiones reflejan que la interacción virtual no logró sustituir completamente la experiencia social presencial, generando una sensación de distanciamiento emocional y académico.

Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

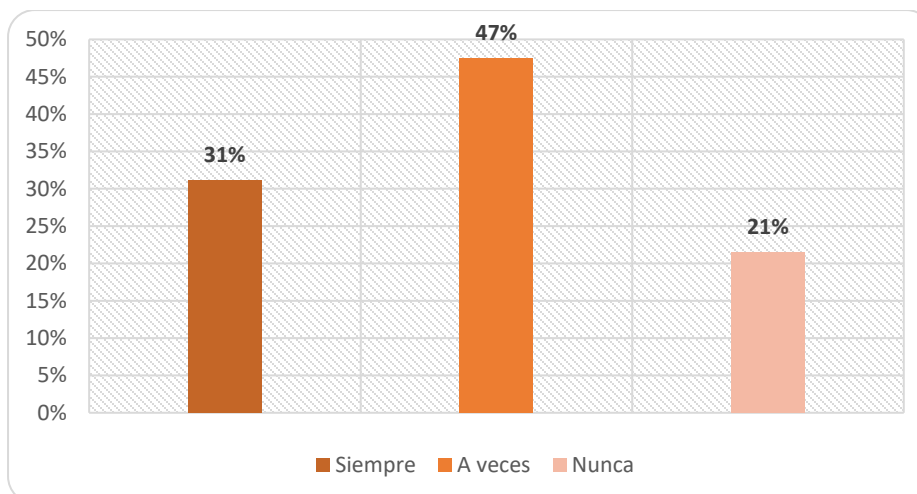


Figura 3. Sentimiento de aislamiento social.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del cuestionario 2025.

Indicador 1. Reactivo orientado a la reconfiguración de la convivencia universitaria: ¿La modalidad virtual afectó su sentido de pertenencia a la universidad?

En el tercer cuestionamiento, se exploró la percepción del sentido de pertenencia institucional durante el periodo de confinamiento. Los resultados indican que el 38% de los estudiantes consideró que la modalidad virtual afectó “mucho” su identificación con la universidad, el 42% señaló que la afectó “poco” y el 20% manifestó que no se vio afectado. Estos datos sugieren que el 80% de la muestra experimentó algún grado de impacto en su vínculo institucional. La experiencia universitaria, al trasladarse a un entorno completamente digital, limitó elementos simbólicos y cotidianos que fortalecen la identidad académica, tales como la participación en actividades extracurriculares, eventos institucionales y la convivencia directa con docentes y compañeros.

Algunos estudiantes señalaron:

E91MS2 – “...extraño mucho estar en la facultad, convivir en los proyectos, eso hacía que fuera más fácil hacer las tareas.”

Las percepciones de los alumnos proporcionan una sólida evidencia de que la experiencia cotidiana de la comunidad universitaria, y no solo la matrícula institucional, determina el sentido de pertenencia.

Indicador 2. Reactivo orientado a la socialización digital: ¿Aumentó su uso de redes sociales durante el confinamiento?

En el cuarto cuestionamiento, se indagó sobre la variación en el uso de redes sociales durante el confinamiento. El 83% de los estudiantes reportó un incremento en el tiempo destinado a redes sociales, mientras que el 10% indicó que se mantuvo igual y solo el 7% manifestó una disminución. (Figura 4.)

El aumento en la socialización digital puede interpretarse como un mecanismo de adaptación ante la reducción del contacto presencial. Las plataformas digitales se convirtieron en espacios alternativos para mantener comunicación con compañeros y familiares; sin embargo, este incremento no compensó completamente la calidad de la interacción cara a cara.

Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

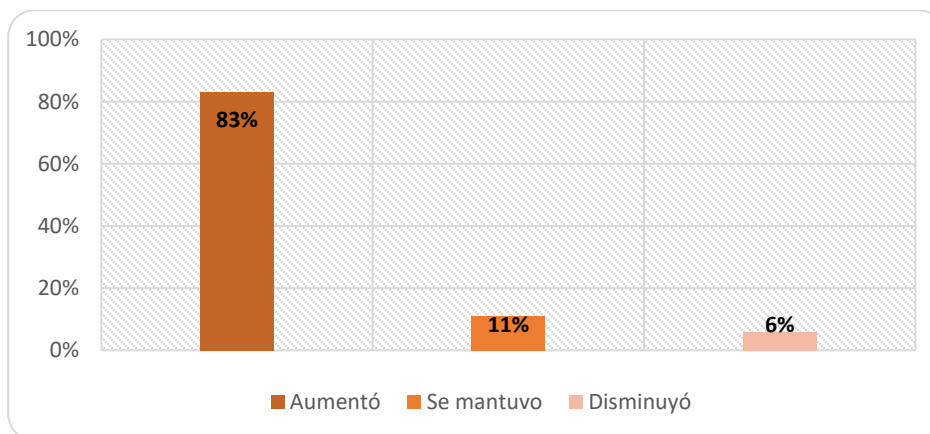


Figura 4. Uso de redes sociales.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del cuestionario 2025.

Indicador 3. Reactivo orientado al acompañamiento docente: ¿Considera que la comunicación con sus docentes fue efectiva durante la modalidad virtual?

En el quinto cuestionamiento, se exploró la percepción del acompañamiento docente durante la modalidad virtual. Los resultados muestran que el 53% consideró que la comunicación fue efectiva solo “a veces”, el 28% señaló que “siempre” y el 19% manifestó que “nunca” fue efectiva. (Figura 5.)

Estos datos reflejan una percepción mayormente intermedia respecto al rol docente en la experiencia social del aprendizaje. Si bien una proporción relevante reconoció esfuerzos constantes por parte del profesorado, también se identificaron áreas de oportunidad en términos de retroalimentación, cercanía académica y claridad comunicativa.

Al respecto, algunos estudiantes comentaron:

E41HS2 – “...había maestros preparados, pero otros solo enviaban muchas tareas sin explicación.”

Estas declaraciones indican que el cambio repentino hacia la virtualidad provocó una variabilidad en la experiencia académica, lo cual impactó tanto la percepción de la relación educativa como la calidad de las interacciones pedagógicas.

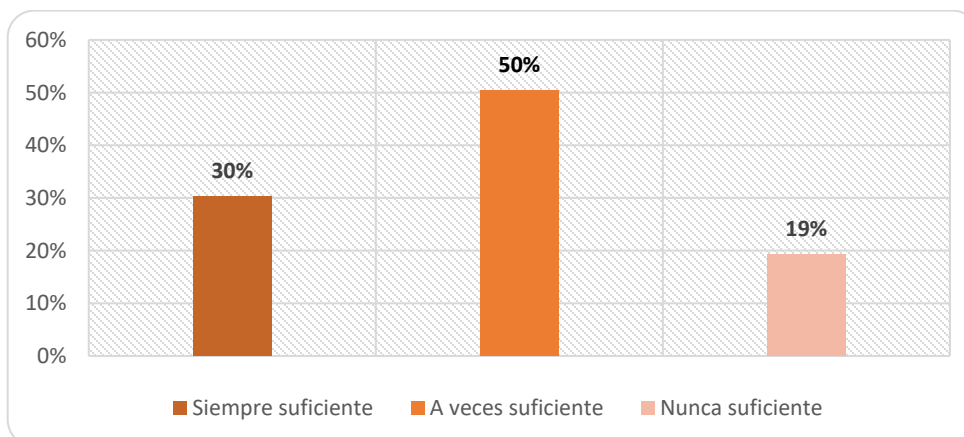


Figura 5. Acompañamiento docente.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del cuestionario 2025.

Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

En conjunto, los resultados confirman que el confinamiento transformó significativamente la dimensión social de la formación universitaria. La disminución de interacción presencial, el incremento del aislamiento, la afectación del sentido de pertenencia y la migración hacia formas digitales de socialización reflejan una reconfiguración profunda de la experiencia académica. La percepción intermedia del acompañamiento docente sugiere que, aunque la continuidad académica fue posible, la dimensión relacional del aprendizaje enfrentó desafíos importantes. La universidad dejó temporalmente de ser un espacio físico de encuentro para convertirse en un entorno virtual centrado en la transmisión de contenidos, debilitando en cierta medida la construcción colectiva de identidad profesional.

Estos hallazgos permiten afirmar que el impacto social del confinamiento no solo alteró la convivencia universitaria, sino también la manera en que los estudiantes percibieron su integración, su pertenencia y su interacción dentro del entorno académico.

CONCLUSIONES.

La presente investigación tuvo como objetivo analizar el impacto social derivado del confinamiento por COVID-19 en los estudiantes de la carrera de Ingeniero Mecánico Administrador de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León. A partir del análisis descriptivo de los datos obtenidos mediante la aplicación del cuestionario estructurado, se confirma la hipótesis planteada, la cual sostenía que el confinamiento tuvo un efecto negativo en la dimensión social de la formación universitaria.

Los hallazgos evidencian que, si bien la continuidad académica fue posible a través de plataformas digitales, la experiencia universitaria experimentó una reconfiguración significativa en sus dinámicas de convivencia e interacción. La disminución en la interacción entre compañeros, reportada por el 63% de los estudiantes, refleja una afectación directa en los procesos de socialización académica que tradicionalmente fortalecen el aprendizaje colaborativo, el desarrollo de habilidades interpersonales y la construcción de identidad profesional.

La universidad, entendida como espacio de encuentro, diálogo y cooperación, se vio temporalmente limitada a un entorno virtual que no logró sustituir completamente la riqueza relacional del contacto presencial. Adicionalmente, el 78 % de los alumnos declaró que, al menos "a veces", se sintió aislado socialmente durante la modalidad virtual. Este dato demuestra que el confinamiento afectó no solo la estructura académica, sino también el bienestar socioemocional de los alumnos. La ruptura de rutinas diarias, la falta de ambientes informales para convivir y una reducción en las interacciones espontáneas que ayudan a construir el sentido de comunidad universitaria pueden ser vistas como causas del sentimiento de aislamiento. En esta perspectiva, la dimensión social se presenta como un elemento esencial en la formación completa del ingeniero, más allá de la simple obtención de saberes técnicos.

Otro hallazgo relevante se relaciona con la afectación del sentido de pertenencia institucional. El 80% de los participantes reconoció que la modalidad virtual impactó en alguna medida su identificación con la universidad. Este resultado evidencia que la identidad académica no se construye exclusivamente a partir de la matrícula o la asistencia a clases, sino mediante la participación en la vida universitaria, la interacción constante con docentes y compañeros, y la vivencia de experiencias compartidas dentro del campus. La virtualización abrupta limitó estos elementos simbólicos y sociales que fortalecen el compromiso y la integración estudiantil.

En relación con la socialización digital, el 83% de los estudiantes reportó un incremento en el uso de redes sociales durante el confinamiento. Este aumento puede interpretarse como un mecanismo de adaptación frente a la reducción del contacto presencial; sin embargo, no sustituyó completamente la calidad de la interacción cara a cara. La migración hacia espacios digitales amplió



Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del Ingeniero Mecánico Administrador

la conectividad, pero no necesariamente fortaleció el vínculo social profundo, lo que se relaciona con los niveles elevados de estrés reportados por el 66% de los estudiantes. La coexistencia de mayor interacción digital con sentimientos de aislamiento sugiere que la comunicación mediada por tecnología no compensa plenamente la experiencia relacional presencial. Respecto al acompañamiento docente, los resultados muestran una percepción mayormente intermedia. La mayoría de los estudiantes consideró que la comunicación y preparación académica fue efectiva solo "a veces", lo que señala áreas de oportunidad en la adaptación pedagógica y en el fortalecimiento del vínculo docente-estudiante. Aunque una parte del profesorado logró sostener la continuidad académica con responsabilidad, la transición repentina hacia la virtualidad evidenció desafíos en la implementación de estrategias que integraran de manera equilibrada los aspectos técnicos y sociales del aprendizaje.

En este contexto, los resultados hacen posible declarar que el impacto social del confinamiento fue más allá de la mera alteración del formato educativo. Se trató de un cambio radical en la forma en que los alumnos vivieron su paso por la universidad, lo que influyó en la convivencia, el intercambio académico, el sentido de pertenencia y el bienestar a nivel social y emocional. Estos hallazgos son compatibles con estudios anteriores que indican que la pérdida de rutinas sociales y el aislamiento extendido tienen un impacto importante en los estudiantes universitarios.

Sin embargo, resulta importante señalar que la responsabilidad de sostener la dimensión social de la educación superior no recae exclusivamente en el docente. La construcción de una experiencia universitaria integral requiere esfuerzos articulados entre autoridades institucionales, profesorado, servicios de apoyo psicológico, coordinación académica y el propio estudiantado. La pandemia evidenció la necesidad de fortalecer estrategias institucionales orientadas a preservar la cohesión social, incluso en contextos de educación a distancia. En cuanto a las limitaciones del estudio, se reconoce que la muestra fue no probabilística por conveniencia y estuvo compuesta por 135 estudiantes de una sola carrera e institución, lo que limita la posibilidad de generalizar los resultados a otros contextos geográficos o disciplinas académicas. Asimismo, al tratarse de un estudio de corte transversal y basado en autorreporte, existe la posibilidad de sesgo de percepción o deseabilidad social en las respuestas. Tampoco se incluyeron perspectivas de docentes o autoridades académicas que pudieran enriquecer el análisis desde una visión más integral.

Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar la muestra a otras carreras y universidades, incorporar metodologías mixtas que integren análisis cualitativos y cuantitativos, así como incluir entrevistas o grupos focales que profundicen en las experiencias subjetivas del estudiantado. También se recomienda analizar comparativamente la etapa post-pandemia para identificar procesos de recuperación del sentido de pertenencia y reintegración social en entornos híbridos.

REFERENCIAS

- Aristovnik, A., Keržič, D., Ravšelj, D., Tomaževič, N., & Umek, L. (2020). Impacts of the COVID-19 pandemic on life of higher education students: A global perspective. *Sustainability*, 12(20), 8438. <https://doi.org/10.3390/su12208438>
- Balluerka Lasa, N., Gómez Benito, J., Hidalgo Montesinos, M. D., Gorostiaga Manterola, A., Espada Sánchez, J. P., Padilla García, J. L., & Santed Germán, M. Á. (2020). Las consecuencias psicológicas de la COVID-19 y el confinamiento. Servicio de Publicaciones de la Universidad del País Vasco.
- Brown, C., & Salmi, J. (2020). Putting fairness at the heart of higher education: A global perspective. UNESCO.



**Impacto social derivado de la pandemia por COVID-19 en la formación del
Ingeniero Mecánico Administrador**

- Cao, W., Fang, Z., Hou, G., Han, M., Xu, X., Dong, J., & Zheng, J. (2020). The psychological impact of the COVID-19 epidemic on college students in China. *Psychiatry Research*, 287, 112934. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.112934>
- Carrasquilla, G., González, M., Camargo, L., Soto, J., & Ramos, V. (2019). Representaciones sociales en salud: Una aproximación conceptual. *Revista de Ciencias Sociales*, 25(2), 45–60.
- Delbon, P., Pinho, C., & Nardi, L. (2020). El impacto psicológico de la cuarentena en estudiantes universitarios y terciarios. *Revista Argentina de Salud Pública*, 12(Supl. COVID-19), 1–7.
- García Ruiz, J. (2020). COVID-19 y educación superior: De los efectos inmediatos al día después. Análisis de impactos, respuestas políticas y recomendaciones. Instituto Internacional de la UNESCO para la Educación Superior en América Latina y el Caribe (IESALC).
- Instituto Internacional de la UNESCO para la Educación Superior en América Latina y el Caribe (IESALC). (2021). Desafíos de la educación superior frente a la pandemia de COVID-19 en América Latina y el Caribe. *Educación Superior y Sociedad*, 33(2), 15–19.
- Jodelet, D. (1986). La representación social: Fenómenos, concepto y teoría. En S. Moscovici (Ed.), *Psicología social II* (pp. 469–494). Paidós.
- Marinoni, G., Van't Land, H., & Jensen, T. (2020). The impact of COVID-19 on higher education around the world. *International Association of Universities*.
- Marková, I. (2017). *The making of the theory of social representations*. Cambridge University Press.
- Páez, D., & Pérez, J. A. (2020). Representaciones sociales y pandemia: Comprensión del comportamiento social en contextos de crisis. *Revista de Psicología Social*, 35(3), 1–15.
- Pérez, F., Vázquez, A., & Cambero, S. (2020). Educación universitaria en tiempos de COVID-19: Retos de la virtualización. *Revista de Educación a Distancia*, 20(62), 1–18.
- Son, C., Hegde, S., Smith, A., Wang, X., & Sasangohar, F. (2020). Effects of COVID-19 on college students' mental health in the United States: Interview survey study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(9), e21279. <https://doi.org/10.2196/21279>
- UNESCO. (2020). Impacto de la COVID-19 en la educación superior: De los efectos inmediatos al día después [Informe oficial]. UNESCO.
- Vidal Ledo, M. J., et al. (2021). Impacto de la COVID-19 en la educación superior: Efectos inmediatos y desafíos futuros. *Revista Cubana de Educación Superior*, 39(1), 23–40. https://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21412021000100023&script=sci_arttext
- Wang, C., Pan, R., Wan, X., Tan, Y., Xu, L., Ho, C. S., & Ho, R. C. (2020). Immediate psychological responses and associated factors during the initial stage of the COVID-19 epidemic among the general population in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1729. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051729>

