



CienciAcierta[®]

AÑO 22, NÚMERO 86

ISSN: 2683-1848

ABRIL-JUNIO 2026

Latindex: 30518



PUBLICADA DESDE 2005

ISSN 2683-1848

CienciAcierta, año 22, No. 86 abril-junio 2026, es una publicación trimestral editada por la Universidad Autónoma de Coahuila, boulevard Venustiano Carranza s/n, colonia República Oriente, C.P. 25380, Saltillo, Coahuila. Editor responsable: Dra. Anna Iliina. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2019-010914143600-203, ISSN: 2683-1848, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Departamento de Divulgación Científica de la Dirección de Investigación y Posgrado UAdeC, Lic. Loyda Esther Gil Noriega, Edificio D, planta alta, Unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, fecha de última actualización 1° de abril de 2026.

CienciAcierta es una publicación científica, tecnológica y humanística, multidisciplinaria cuyo objetivo es divulgar el avance del conocimiento, se enfoca en las siguientes áreas: Ciencias Naturales y Exactas; Ingeniería y Tecnología; Medicina y Ciencias de la Salud; Ciencias Sociales y del Comportamiento; Humanidades y Arte; Ciencias Administrativas y de Gestión; y Arquitectura, Urbanismo y Diseño.

Todo el material publicado cuenta con un reporte de análisis de similitud favorable y ha sido sometido a un proceso de evaluación de doble ciego por pares académicos externos a la UAdeC.

EN PORTADA

Bioluminiscencia en una cavidad kárstica de piedra caliza en el Parque Nacional Dorrigo, Nueva Gales del Sur, Australia. Las larvas del mosquito fúngico **Arachnocampa richardsae**, endémico del este de Australia, producen gotitas de líquido adhesivo que forman «collares» colgando de la roca. La luminosidad se debe a una reacción química que involucra la sustancia heterocíclica luciferina, y que tiene lugar en órganos de secreción alterados conocidos como túbulos de Malpighi. La luz emitida atrae a los insectos, que quedan atrapados por las gotitas pegajosas, sirviendo de alimento a los mosquitos. El brillo rosado de la fotografía se debe a los líquenes, iluminados con una linterna ultravioleta.

Bioluminiscencia en la tela adhesiva de las larvas depredadoras de moscas de los hongos. Parque Nacional Dorrigo, Australia. Autor: DmytroLeontyev. Licencia: Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Enlace al archivo en Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=142354468>.

CONSEJO EJECUTIVO EDITORIAL

Dra. Anna Iliina
EDITOR
annailina@uadec.edu.mx

Dr. Luis Gutiérrez Flores
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y
POSGRADO
luis.gutierrez@uadec.edu.mx

Dr. David Castro Lugo
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN-DIP
david.castro@uadec.edu.mx

Lic. Loyda E. Gil Noriega
DIVULGACIÓN CIENTÍFICA-DIP
logiln@uadec.edu.mx

COMITÉ TÉCNICO EDITORIAL NACIONAL E INTERNACIONAL

Dra. Elda Patricia Segura C.
QUÍMICAS
Fac. de Ciencias Químicas-UAdeC
psegura@uadec.edu.mx

Dra. Gabriela de la Peña Astorga
COMUNICACIÓN
Fac. C. de la Comunicación-UAdeC
gabriela.pena@uadec.edu.mx

Dr. Gustavo Félix Verduzco
ECONOMÍA
CISE-UAdeC
gustavo.felix@uadec.edu.mx

Dra. Irma Delia García Calvillo
MATEMÁTICAS
CIMA-UAdeC
irma.garcia@uadec.edu.mx

Dr. Pablo Ruiz Flores
CIENCIAS DE LA SALUD
CIB-UAdeC
pabloruiz@uadec.edu.mx

Dr. José González Tovar
PSICOLOGÍA
Fac. de Psicología-UAdeC
josegonzaleztovar@uadec.edu.mx

Dr. Manuel Gil Antón
EDUCACIÓN
El Colegio de México
mgil@colmex.mx

Dr. Juan Carlos Centeno
Maldonado
JURISPRUDENCIA
Fac. de Jurisprudencia UAdeC
centenojuan@uadec.edu.mx

Dra. Virginia Nevares Moorillón
MICROBIOLOGÍA Y C. AMBIENTALES
Fac. Ciencias Químicas UACH
vnevare@uach.mx

Dra. Arely Prado Barragán
BIOTECNOLOGÍA Y ALIMENTOS
Universidad Autónoma
Metropolitana
lapb@xanum.uam.mx

Dr. Gerardo Gutiérrez Sánchez
CIENCIAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS
CCRC-University of Georgia, USA
gerardo@ccrc.uga.edu

Dr. Guillermo Picó
C. BIOQUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS
Universidad Nacional de Rosario,
Argentina
gpico@fbioyf.unr.edu.ar

Dr. Luis Huesca Reynoso
ECONOMÍA
Centro de Investigación
Alimentación y Desarrollo, México
lhuesca@ciad.mx

ÍNDICE

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

- AUTOGESTIÓN DEL CUIDADO DE PACIENTES QUE VIVEN CON DIABETES TIPO 2** 1
SELF-MANAGEMENT OF CARE IN PATIENTS LIVING WITH TYPE 2 DIABETES
QUIROZ GUERRA, Alma Rosa; FERNÁNDEZ GARCÍA, América Harlen; MORALES JINEZ, Alejandro; PAZ NAVARRO, Sonia Guadalupe, GUZMÁN DANIEL, Hermelinda; RODRÍGUEZ MEJÍA, Luz Elena.
- EFFECTO DE LA INTERFASE SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DEL ESFUERZO LOCAL Y LA RESPUESTA ELÁSTICA DE MATERIALES COMPUESTOS** 14
EFFECT OF INTERFASE ON THE LOCAL STRESS DISTRIBUTION AND THE ELASTIC RESPONSE OF COMPOSITE MATERIALS
RIVERA SALINAS, Jorge Enrique; MORALES AMAYA, Corazón Giovanna.
- LAS COFRADÍAS DE ÁNIMAS DEL PURGATORIO EN SALTILLO Y SAN ESTEBAN** 28
THE CONFRATERNITIES OF THE SOULS IN PURGATORY IN SALTILLO Y SAN ESTEBAN
BARRANCO MUÑOZ, Alejandro Quitze; CASTILLO FLORES, José Gabino.
- ESTUDIO MULTIVARIABLE DE LAS DIMENSIONES DE UN INHIBIDOR DE TURBULENCIA CON CAVIDAD INTERNA RECTANGULAR EN UN PARALELEÍPEDO REGULAR** 45
THE MULTIVARIABLE STUDY OF DIMENSION OF A TURBULENCE INHIBITOR WITH A RECTANGULAR INTERNAL CAVITY IN A RECTANGULAR PARALLELEPIPED
CERRITOS ARRIAGA, María de Lourdes; RODRÍGUEZ ÁVILA, Jafeth; MORALES DÁVILA, Rodolfo; OLVERA ROMERO, Gerardo Daniel; MUÑIZ VALDÉS, Carlos Rodrigo; GÓMEZ CASAS, Josué.
- DERRAME PLEURAL EN HOSPITAL DE SEGUNDO NIVEL ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO** 60
PLEURAL EFFUSION IN A SECONDARY HOSPITAL CARE: EPIDEMIOLOGICAL STUDY
GARCÍA CABELLO, Ricardo; HERNÁNDEZ VÁZQUEZ, Daniel Gustavo; ROBLES MARTÍNEZ, Jonhy Emmanuel; MARTÍNEZ REYNA; Luis Carlos.

**DEGRADACIÓN DE COLORANTES EN SOLUCIONES ACUOSAS
UTILIZANDO PLASMA JET ATMOSFÉRICO**

*DEGRADATION OF DYES IN AQUEOUS SOLUTIONS USING ATMOSPHERIC
PLASMA JET*

69

ROMERO ZÚÑIGA, Gabierla Yolotzin; NEIRA VELÁZQUEZ, María
Guadalupe; SORIA ARGÜELLO, Gustavo; DE LA PEÑA AGUIRRE, Daniel;
CANO SALAZAR, Lucía Fabiola.

**MATERIALES ADSORBENTES DERIVADOS DEL CARBÓN PARA LA
REMOCIÓN DE COLORANTES DE MEDIOS ACUOSOS**

*CARBON-DERIVED ADSORBENT MATERIALS FOR THE REMOVAL OF DYES
FROM AQUEOUS MEDIA*

84

DE LA PEÑA AGUIRRE, Daniel; MÚZQUIZ RAMOS, Elia Martha;
COVARRUBIAS GORDILLO, Carlos Andrés; CRUZ ORTIZ, Brenda
Rogelina; CANO SALAZAR, Lucía Fabiola.

LA ESCUELA CORRECCIONAL DE ARTES Y OFCIOS

**UN VISTAZO A UNA INSTITUCIÓN PREOCUPADA POR LA INFANCIA Y LA JUVENTUD
VULNERABLE (1896-1917)**

94

*THE CORRECTIONAL SCHOOL OF ARTS AND CRAFTS OF SALTILLO,
COAHUILA: A LOOK AT AN INSTITUTION CONCERNED WITH
VULNERABLE CHILDREN AND YOUTH (1896 TO 1917)*

GARCÍA BALDERAS, Andrea Guadalupe; FLORES FLORES, Graciela.

**DISEÑO Y ANÁLISIS MECÁNICO MEDIANTE MÉTODO DE ELEMENTO
FINITO DE UNA IMPRESORA 3D PARA EL VACIADO DE CONCRETO DE
BAJO REVENIMIENTO MEDIANTE TORINILLO SINFIN**

113

*MECHANICAL DESIGN AND ANALYSIS USING THE FINITE ELEMENT
METHOD OF A 3D PRINTER FOR LOW SLUMP CONCRETE POURING
USING A SCREW CONVEYOR*

GONZÁLEZ PERALES, Julián Fernando; GÓMEZ CASAS, Josué; CASTRO
SOLÍS, Luis Everardo; RODRÍGUEZ ÁVILA, Jafeth; OBREGÓN FLORES,
Jonathan Sebastián; GUERRA BRAVO, Esteban.

- LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL, USO Y RETOS EN ESTUDIANTES DE MEDICINA** **131**
DISEÑO TRANSVERSAL
ARTIFICIAL INTELLIGENCE, USE AND CHALLENGES IN MEDICAL STUDENTS. CROSS-SECTIONAL DESIGN
 ESQUIVEL MUÑOZ, Gilberto; DOMÍNGUEZ ROMO, Kenia; MORLET CHÁVEZ, Jesús A.; CEPEDA NIETO, Ana Cecilia; FLORES, Carmen Adelaida; MAURICIO BENAVIDES, Juan Enrique; MENESES SIERRA, Eduardo.
- AVANCES RECIENTES EN LA INTERACCIÓN CAROTENOIDE-PROTEÍNA LÁCTEA: MECANISMOS Y APLICACIONES** **147**
RECENT ADVANCES IN CAROTENOID–MILK PROTEIN INTERACTION: MECHANISMS AND APPLICATIONS
 OCHOA VIÑALS, Nayra; GUERRERO SUÁREZ, Alondra; PEDRAZA CASTILLO, Paola; ALONSO ESTRADA, Dania; RAMOS GONZÁLEZ, Rodolfo; GARCÍA CRUZ, Ariel; TORRES ROSABAL, Daylin; GOVEA SALAS, Mayela; MICHELENA ÁLVAREZ, Georgina; ILINÁ Anna.
- REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS** **165**
COMPOSITOS POLIMÉRICOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES TRATADAS CON PLASMA
UNA REVISIÓN
POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH PLASMA-TREATED NATURAL FIBERS: A REVIEW
 CRUZ DE LA FUENTE, Víctor Hugo; NARRO CÉSPEDES, Rosa Idalia; FARIAS CEPEDA, Lorena; SORIA ARGÜELLO, Gustavo; REYES ACOSTA, Yadira Karina, CASTAÑEDA FACIO, Adalí Oliva.
- EL LADO VERDE DE LAS NANOESTRUCTURAS DE BISMUTO: REVOLUCIONANDO LA TECNOLOGÍA CON MÉTODOS SOSTENIBLES** **179**
THE GREEN SIDE OF BISMUTH NANOSTRUCTURES: REVOLUTIONIZING NANOTECHNOLOGY THROUGH SUSTAINABLE METHODS
 DE LOS SANTOS TORRES, Aarón; MARTÍNEZ LANDEROS, Víctor Hugo; GARCÍA CERDA, Luis Alfonso.
- AGRONANOTECNOLOGÍA: PERSPECTIVAS E IMPLICACIONES EN LA GESTIÓN AMBIENTAL**



AGRONANOTECHNOLOGY: PERSPECTIVES AND IMPLICATION IN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT 191

VIRAMONTES MÁRQUEZ, Juan Pablo; ADAME MARTÍN, Angélica Evelyn;
GARCÍA DE ALBA VERDUZCO, Javier Eugenio; RAMÍREZ HERNÁNDEZ,
Blanca Catalina; GUTIÉRREZ MARTÍNEZ, Paulina Beatriz; MALDONADO
VILLEGAS, Marcela Mariel.

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

EDUCAR EN QUÍMICA PARA UN FUTURO SOSTENIBLE: LOS ODS COMO UN EJE FORMATIVO

EDUCATING IN CHEMISTRY FOR A SUSTAINABLE FUTURE: THE SDGs AS A CORE FRAMEWORK 206

CANO SALAZAR, Lucía Fabiola; FLORES GUÍA, Tirso Emmanuel.

ESPECIAL

SEGUNDO COLOQUIO DEL DAU AVANCE DE TESIS DOCTORAL 215

MATERIALES DE DESECHO EN VIVIENDAS PRECARIAS DEL SUR DE TAMAULIPAS: EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y SUS REPERCUSIONES PARA LA SALUD 216

BRICEÑO HERNÁNDEZ, Abril Nayeli; ROUX GUTIERREZ, Rubén Salvador; SUASTES ACOSTA, Salndra Luz.

VALORACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO A TRAVÉS DE LOS MEDIOS DIGITALES 229

EL CASO DE ADOLESCENTES EN DOS CIUDADES DE MÉXICO
ASSESSMENT OF ARCHITECTURAL HERITAGE THROUGH DIGITAL MEDIA: THE CASE OF ADOLESCENTS IN TWO MEXICO CITIES

LÓPEZ CERVANTES, Clarisa; ROSALES MENDOZA, José Manuel;
RODRÍGUEZ ESPINOZA, Claudia.

LA EVOLUCIÓN ARQUITECTÓNICA DE LAS COCINAS EN SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO DE LOS SIGLOS XX Y XXI 241

THE ARCHITECTURAL EVOLUTION OF KITCHENS IN SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, OF THE 20TH AND 21ST CENTURIES

CONTRERAS TREVIÑO, Cristina Guadalupe; DÁVILA DEL BOSQUE, Argelia Isabel.



**MOVILIDAD COTIDIANA DE ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS
EXPERIENCIAS DEL HABITAR HUMANO EN LA ZONA METROPOLITANA
DE LA LAGUNA, MÉXICO**

255

EVERY DAY MOBILITY OF UNIVERSITY STUDENTS

*URBAN DWELLING EXPERIENCES IN THE METROPOLITAN AREA OF
LA LAGUNA, MÉXICO.*

HERNÁNDEZ MORENO, José Miguel; GONZÁLEZ PÉREZ, Mario Guadalupe;
SOTO CANALES, Karina.

AUTOGESTIÓN DEL CUIDADO DE PACIENTES QUE VIVEN CON DABETES TIPO 2

INVESTIGACIÓN

SELF MANAGEMENT OF CARE IN PATIENTS LIGING WITH
TYPE 2 DIABETES

QUIROZ GUERRA, Alma Rosa

FERNÁNDEZ GARCÍA, América Harlen

MORALES JINEZ, Alejandro

PAZ NAVARRO, Sonia Guadalupe

GUZMÁN DANIEL, Hermelinda

RODRÍGUEZ MEJÍA, Luz Elena

RESUMEN

La diabetes es una enfermedad crónica que requiere un manejo efectivo para evitar complicaciones, la autogestión del cuidado puede ser determinante para el control de la enfermedad. De acuerdo con la teoría de Dorothea Orem el autocuidado es esencial para mantener el estado de salud y bienestar, por lo que el objetivo del estudio es determinar el nivel de autogestión del cuidado de la persona que vive con Diabetes Tipo 2. Se realizó un estudio con enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y de corte transversal, en una muestra seleccionada mediante muestreo no probabilístico a conveniencia de 173 participantes con diagnóstico de diabetes tipo 2. Los datos se colectaron mediante el inventario para el autocuidado para personas que viven con diabetes correspondiente a la dimensión de la autogestión del cuidado, integrado con 23 ítems y un Alfa de Cronbach 0.91. Los resultados indican que la muestra estuvo conformada en 71 % por mujeres y la edad estuvo en un rango de 24 a 87 años con un promedio de 59 años. Asimismo, el 30 % tiene una adecuada autogestión del cuidado; el 58.4 % una insuficiente autogestión del cuidado y el 11.6 % una deficiente autogestión del cuidado. Los resultados encontrados en la presente investigación son similares a otros estudios en cuanto a la prevalencia de la mujer y la deficiente e insuficiente autogestión del cuidado, ante estos resultados, el personal de enfermería le compete promover comportamientos autodirigidos a las necesidades de regulación para mantener la salud o bienestar de acuerdo con la teoría de Dorothea Orem.

Palabras clave: autogestión; *diabetes mellitus*; autocuidado; atención de enfermería.

Facultad de Enfermería,
Universidad Autónoma de
Coahuila, Torreón, Coahuila.
México.

Correspondencia
almaquirozguerras@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9320-3920>
Fecha de recepción
4 de abril de 2025.
Fecha de aceptación
14 de diciembre de 2025.

ABSTRACT

Type 2 Diabetes is a chronic condition requiring effective self-management to prevent adverse outcomes. Self-care management is important in controlling diabetes disease. According to Dorothea Orem's theory, self-care is essential to maintaining health and well-being. Therefore, this study aimed to assess the level of self-care management among individuals living with Type 2 Diabetes. A descriptive, cross-sectional study with a quantitative approach was conducted on a sample of 173 participants diagnosed with type 2 diabetes, selected using non-probability convenience sampling. Data were collected using the Self-Care Inventory for individuals living with diabetes, which corresponds to the care self-management dimension, consisting of 23 items and a Cronbach's Alpha of 0.91. The results indicate that 71 % of the sample were women, and ages ranged from 24 to 87 years, with an average age of 59 years. Additionally, 30.0 % demonstrated adequate self-care management, 58.4 % showed insufficient self-care management, and 11.6 % had deficient self-care management. The findings of this study are consistent with other research regarding the predominance of female participants and the deficient or insufficient levels of self-care management. In light of these results, it is the responsibility of nursing staff to promote self-directed behaviors that address regulatory needs to maintain health and well-being, in accordance with Dorothea Orem's theory.

Keywords: *diabetes mellitus; self-management; self-care; nursing care.*

INTRODUCCIÓN

La Federación Internacional de Diabetes [FID] (2021) reporta 540 millones de personas en el mundo que padecen diabetes y prevalece la diabetes tipo 2 en más de 90 % y se espera que para el 2045 una persona, por cada ocho, vivirá con diabetes. En México 12.6 % de la población tiene diagnóstico de diabetes y una proporción de 22.1 % de habitantes presenta intolerancia a la glucosa, lo cual representa que en cualquier momento es factible que se triplicara la prevalencia (Federación Mexicana de Diabetes [FMD], 2024). Coahuila es uno de los estados con mayor proporción de personas que viven con diabetes y ocupa el tercer lugar de mortalidad por complicaciones relacionadas con esta enfermedad. Otros datos importantes para resaltar es la prevalencia del diagnóstico de diabetes en personas mayores de edad, en edad productiva,



con menor nivel educativo y en el género femenino (Gómez y col., 2018; FMD, 2024; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021).

La diabetes como enfermedad crónica degenerativa implica convivir con ella de forma permanente, asimismo la hiperglucemia constante compromete la función normal de diversas estructuras orgánicas principalmente el riñón, los ojos, los vasos sanguíneos y las terminaciones nerviosas, las complicaciones son: agudas como la hipoglucemia, hiperglucemias aisladas, estado hiperosmolar hiperglucémico y la cetoacidosis diabética y las crónicas macrovasculares, como cardiopatías isquémicas, insuficiencia cardíaca, enfermedades cerebrovasculares, enfermedad arterial periférica, y las complicaciones crónicas microvasculares, como retinopatía, nefropatía, neuropatía periférica y lesiones o úlceras en los pies (Secretaría de Salud [SS], 2009; SS, 2018).

El mantener los valores meta de glucemia <110 mg/dl en ayuno y <140 mg/dl posprandial a las dos horas evita o retarda al máximo la presencia de complicaciones agudas o crónicas, para ello se requiere estilos de vida saludables como una dieta adecuada, mantener o reducir el peso corporal, actividad física moderada, evitar el consumo de tabaco y bebidas alcohólicas, así como el apego al tratamiento farmacológico (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018). Cuando estos estilos de vida no están presentes en la persona y la falta de ellos no se asocian con la pérdida de la salud, por el duelo ante el diagnóstico o el desconocimiento de este, se presenta el déficit de autocuidado (Naranjo y col., 2017) correspondiente a una de las teorías propuestas por Dorothea Elizabeth Orem.

De acuerdo a la teoría del déficit de autocuidado la persona se encuentra limitada de forma parcial o total en su compromiso de autogestión del cuidado, por lo que requiere apoyo externo de diversas fuentes para el desarrollo y maduración de la autogestión del cuidado, surgiendo la necesidad de la relación entre la capacidad de adquirir el conocimiento que permita la acción para satisfacer las necesidades terapéuticas presentes o futuras, en esa relación se requieren estrategias de interacción profesional referentes a la teoría de los sistemas de enfermería, encaminadas a que la persona logre realizar la totalidad de actividades complejas de manera intencionada y deliberada en la resolución de las necesidades que permita mantener la integridad funcional y el desarrollo vital el cual otorga un valor para la persona propuesto en la teoría de autocuidado por Orem (Marriner y Raile, 2018; Ulloa, 2017).

Los estudios a este respecto no son específicos a la autogestión del cuidado sino al nivel de conocimiento referente a la diabetes (Rico y col., 2020; Suárez y col., 2020; Gómez y col., 2018; 2015; Vergara y col., 2016) y cómo incrementa el conocimiento posterior a una intervención (Soler y col., 2016; López y col., 2016; Flores y Sánchez, 2015; Giménez y Peyró, 2013). Los estudios coinciden en la prevalencia; del diagnóstico en las mujeres, la edad productiva y el bajo nivel educativo y los estudios de intervención reportan incremento en el conocimiento y la mejoría en los valores glucémicos meta posterior a la intervención.

El personal de enfermería tiene un papel importante en la promoción de la salud para la prevención de las complicaciones ante la presencia de enfermedad crónico degenerativa además de atender los acuerdos establecidos en la Cumbre de Desarrollo Sostenible 2015 referente a disminuir la mortalidad prematura por las enfermedades no transmisibles como parte del Objetivo 3 Salud y Bienestar de los Objetivos de desarrollo sostenible (OMS, 2015; OMS, 2018) teniendo en cuenta la perspectiva de la persona que vive con diabetes propiciando la autogestión del cuidado, para ello es relevante determinar el nivel de autogestión del cuidado de la persona que vive con diabetes tipo 2 en la población urbana de Torreón, Coahuila.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio con enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo, de corte transversal en la población urbana de la ciudad de Torreón Coahuila en el centro de la ciudad, en colonias del nororiente y sur poniente, con una muestra de 173 personas seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico a conveniencia (Hernández y col., 2014), bajo los criterios de elegibilidad de: conocerse como persona que vive con diabetes tipo 2, ser mayor de edad y que acepten participar.

La investigación es de riesgo mínimo, se da cumplimiento a los artículos 98 y 100 en el Título Quinto y el Artículo 14, fracción VII, en el Título Segundo del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación en Salud, la recolección de la información contempló datos sociodemográficos y una encuesta estructurada lo cual no implica riesgo de comprometer la integridad de los participantes, quienes accedieron a participar de forma voluntaria

otorgándoles la seguridad del anonimato y en todo momento el respeto a la dignidad, los derechos y el bienestar de los participantes como se establece en el artículo 13, 14 fracción I y V, 16, 17 fracción II en el Título Segundo del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación en Salud (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2014). El estudio se aprobó por el comité de ética e investigación de la Facultad de Enfermería Unidad Torreón de la Universidad Autónoma de Coahuila con número de registro 2023/FAENUT/00.

Previo firma de consentimiento informado el cual está elaborado con apego los artículos 21 y 22 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación en Salud (DOF, 2014), se aplicó el instrumento Inventario para el autocuidado para personas que viven con diabetes (Quiroz y col, 2021) el cual, cuenta con una validez interna Alfa de Cronbach de 0.89 y validez externa de Índice de contenidos total de 0.92 (González y Pazmiño, 2015; Ruiz, 2019), para el presente estudio solo se consideraron 23 ítems referentes a la autogestión del cuidado, los cuales son parte del eje tres de Autocuidado con una escala de medición de 0 a 10, con los siguientes rangos de interpretación 0 a 3 Deficiente autogestión del cuidado, >3 a 7 Insuficiente autogestión del cuidado y de >7 a 10 Adecuada autogestión del cuidado. Las personas dieron respuesta a, ¿con qué frecuencia? en los últimos tres meses realizan las actividades de autogestión del cuidado.

La recolección de los datos se inició en el 2020, se suspendió durante la pandemia de Covid19 y se reanudo en 2024, para ello se capacitó a los colaboradores en el llenado del instrumento, la integración de la muestra fue a partir de identificar en la comunidad personas claves que conocen a la población, quienes refirieron a las personas posibles de participar en el estudio por cubrir los criterios de inclusión, se realizó una entrevista previa para corroborar la elegibilidad como parte de la muestra y el que aceptaran participar en el estudio, se acordó fecha, lugar y hora para la aplicación del instrumento, en promedio se atendieron de cinco a diez personas por fechas acordadas. Los datos se integraron en una matriz de Excel previa validación del 100 % de llenado del instrumento para posteriormente migrarlo al paquete estadístico SPSSv26 y obtener la estadística descriptiva de las variables estudiadas.

RESULTADOS

En cuanto a la caracterización de la muestra, la edad osciló de 24 a 87 años con un promedio de 59 años; el 82 % cuenta con servicio médico público, el resto refieren atención médica privada; referente al ingreso económico el 34% cuentan con un trabajo, el 76% restante su ingreso procede por pensión o jubilación, por lo que les otorga la pareja, los hijos, los padres u organismos gubernamentales. Se obtuvo una adecuada fiabilidad del instrumento con un Alfa de Cronbach de 0.91 (González y Pazmiño, 2015; Ruiz, 2019).

Referente a la edad por sexo, prevalece el sexo femenino en un 71% (Tabla1), de igual forma, el 46.2% corresponden a personas en edad productiva entre 20 y 59 años, el 38% el ingreso mensual es menor al mínimo, el 15% igual al mínimo y el 46% restante superior al mínimo, en cuanto a la procedencia del ingreso el 19.1% tiene más de un ingreso.

Tabla1. Frecuencias absolutas y relativas de la edad, por sexo.

Años	Frecuencia		Σ	%
	Masculino	Femenino		
20 a 29	0	3	3	1.7
30 a 39	5	8	13	7.5
40 a 49	7	16	23	13
50 a 59	13	29	42	24
60 a 69	16	37	53	31
70 a 79	6	23	29	17
80 a 89	3	7	10	5.8
Σ	50	123		
%	29	71	n = 173	100

En relación a la escolaridad, el 56.7 % corresponde a educación básica, el 24.9 % a educación media-superior y 13.9 % educación superior como se describe en la Figura 1, el 77 % refieren haber recibido información acerca de la diabetes, los años de vivir con diabetes fueron una mínima de un año, una máxima de 50 años, y una media de 11 años; las frecuencias más altas fueron: un año en 26 personas, dos años en 18 personas, diez años en 16 personas, seis años en 13 personas, tres y veinte años en 11 personas respectivamente, el 90 % refirió tener convivencia familiar.

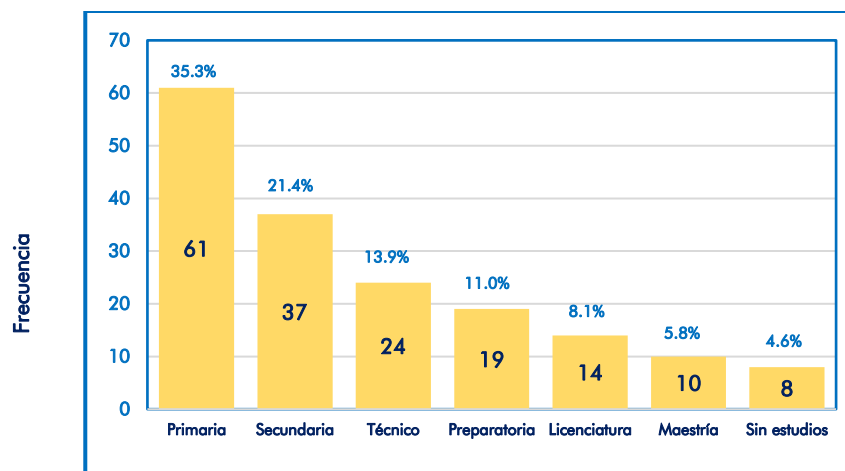


Figura 1. Escolaridad en valores absolutos y relativos

Se encontró que prevalece la insuficiente autogestión del cuidado, las medias oscilaron de 3.04 a 6.91, continúa la adecuada autogestión del cuidado, las medias oscilaron de 7.13 a 10, por último, deficiente autogestión del cuidado con una media mínima de 1.64 y la máxima de 2.96, como se puede observar en la Figura 2.

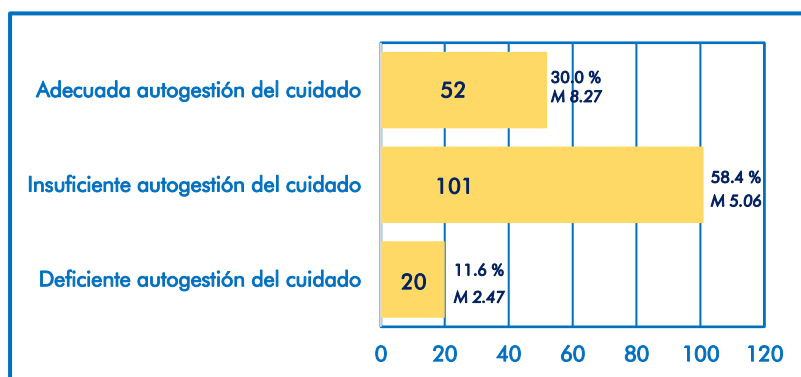


Figura 2. Valor absoluto, relativo y media de la dimensión de autogestión del cuidado del Instrumento Inventario para el autocuidado para personas que viven con diabetes.

Al realizar el análisis por ítems descritos en la Tabla 2, se encontró que solo dos de los ítems se encuentran en el rango de adecuada autogestión del cuidado referentes a la frecuencia en que realizan las comidas y la ingesta de agua suficiente, el resto de los ítems se encontraron en el rango de insuficiente autogestión del cuidado, las medias oscilaron de 4.62 a 6.75.

En cuanto a la totalidad de los ítems con insuficiente autogestión del cuidado: Los ítems que oscilaron entre 6.25 a 6.75 del valor de la media, son los

referentes, a que las personas ingieren en su dieta alimentos cocidos en poca agua, verduras cocidas y evitan el ingerir bebidas alcohólicas. Los ítems que oscilaron entre 5.10 y 5.92 del valor de las medias corresponden a que las personas refieren evitar ingerir alimentos y bebidas considerados como no permitidos en la persona que vive con diabetes, el ingerir frutas permitidas y el comer a las mismas horas. Los ítems que oscilaron entre 4.62 a 4.91 del valor de las medias pertenecen a la expresión de las personas que ingieren colaciones saludables, evitan comer frutas no permitidas, realizan actividad física y monitorean sus niveles de glucosa en sangre capilar.

Tabla 2. Promedio de las respuestas de los ítems de autogestión en personas que viven con Diabetes tipo 2.

Ítems	Media	Interpretación autogestión del cuidado
Come sus tres comidas al día	7.20	Adecuada
Toma de 6 a 8 vasos con agua	7.14	Adecuada
Come alimentos cocinados con poca grasa	6.75	Insuficiente
Come verduras	6.61	Insuficiente
Evita tomar bebidas con alcohol	6.25	Insuficiente
Evita comer pasteles	5.92	Insuficiente
Evita fumar o consumir tabaco	5.92	Insuficiente
Come frutas permitidas (fresa, guayaba, manzana, naranja, toronja, pera, ciruela, kiwi)	5.83	Insuficiente
Evita comer alimentos enlatados	5.81	Insuficiente
Evita comer pan de azúcar	5.79	Insuficiente
Evita tomar jugos enlatados no naturales	5.72	Insuficiente
Evita comer tortillas de harina refinada	5.67	Insuficiente
Evita comer alimentos fritos	5.66	Insuficiente
Evita comer pan blanco	5.61	Insuficiente
Evita comer dulces	5.58	Insuficiente
Come a las mismas horas	5.55	Insuficiente
Evita comer carnes frías	5.41	Insuficiente
Evita comer galletas	5.29	Insuficiente
Evita tomar refrescos	5.10	Insuficiente
Come dos colaciones saludables (apio, zanahoria, pepino, nuez, almendra, ensalada verde)	4.91	Insuficiente
Evita comer frutas no permitidas (plátano, sandía, mago, pasas, uvas, piña, papaya)	4.78	Insuficiente
Se realiza la prueba de la azúcar	4.69	Insuficiente
Hace algún tipo de ejercicio (caminar, correr, ciclismo, natación, yoga, gimnasia, bailar)	4.62	Insuficiente

DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en el presente estudio concuerdan con la prevalencia en cuanto; al diagnóstico de diabetes en la mujer, la edad productiva, el bajo nivel de estudios de las personas, conocimiento deficiente o insuficiente de la enfermedad y la baja o nula realización de actividades de cuidado por la persona que vive con diabetes (Barranco y col., 2020; FID, 2021; FMD, 2024; Giménez y Peyró, 2013; Gómez y col., 2016; López y col., 2016; Rico y col., 2020; Soler y col., 2016; Suárez y col., 2020; 2015; Vergara y col., 2016), a pesar de lo que se establece en la Atención primaria de la salud por parte de la OMS (2008) referente a la corresponsabilidad entre el prestador de servicio de salud y los usuarios de la atención en salud, lo cual implica un área muy importante de oportunidad para un actuar activo del binomio receptor y aportador de la atención en salud, asumiendo compromisos y responsabilidades compartidas en las actividades inherentes a la salud y bienestar más aun en presencia de enfermedad (Fernández y col., 2015).

CONCLUSIONES

El resultado encontrado no es nada favorable, sin embargo, permite contar con una descripción de la autogestión del cuidado, es decir lo que la persona que vive con diabetes realiza como acción de cuidado e identificar las variables con las que se tiene que trabajar a partir de la teoría de Dorothea Orem referente al déficit de autocuidado para lograr y mantener el estado de salud y bienestar, aun en presencia de la enfermedad crónico-degenerativa de diabetes.

El emplear el instrumento de valoración facilita identificar los ítems por atender por medio del sistema de enfermería compensatorio, parcialmente compensatorio y de apoyo educativo, ya sea; otorgando, complementando y/o regulando los cuidados asistenciales y educativos a prodigar a la persona, la cual, a partir de sus procesos de reflexión incrementa la experiencia de autoconocimiento en el manejo del padecimiento, este tipo de vínculo fortalece el actuar activo, orientado a propiciar el desarrollo y maduración de la autogestión del cuidado en la persona que vive con diabetes y para la disciplina de enfermería fortalecer los referentes teóricos.



Por otra parte, al estructurar las intervenciones más adecuadas para la persona que vive con diabetes, se debe tener en cuenta la prevalencia referente al sexo, la edad productiva y el nivel educativo, haciendo que la persona participe en este proceso para que asuma la responsabilidad en el manejo de su salud de forma activa.

Se recomienda profundizar en el fenómeno de estudio; incrementando el tamaño de la muestra, en otros grupos poblacionales, con análisis estadísticos de comparación e inferencia, con tipos de estudio de intervención y cualitativos, lo cual permitirá una mejor comprensión del fenómeno para contar con recursos seguros y de calidad que impacten positivamente en la morbilidad de esta enfermedad no transmisible.

REFERENCIAS

- Barranco, C. I., Zainos, H. D., González, L. A., Montiel, J.A., Reyes, B. J. y García, G. A. (2020). Mejora del conocimiento alimentario en pacientes con diabetes tipo 2 secundario a una intervención educativa. *D'Perspectivas Siglo XXI*. 7 (14): 17-26 <https://doi.org/10.53436/Dz6j91m1>
- Diario Oficial de la Federación. (2014) Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGS_MIS.pdf
- Fernández, S. M., Iglesias, D. M., Lobato, G. S., Roa, B.S. y Román, C.B. (2015). Manual didáctico de corresponsabilidad familiar. Cádiz, España. Instituto de Empleo y Desarrollo Tecnológico. <https://www.dipucadiz.es/export/sites/default/igualdad/galerias-ficheros/recursos/Manual-didactico-sobre-la-corresponsabilidad-familiar-para-personas-mayores.pdf>
- Federación Mexicana de Diabetes [FMD]. (10-06-2024) Diabetes en México ENSANUT 2022. <https://fmdiabetes.org/encuesta-nacional-de-salud-y-nutricion-2020-sobre-covid-19/>
- Giménez, M.M. y Peyró, G.L. (2013). Nivel de conocimiento en pacientes diabéticos tipo 2. Eficiencia de una estrategia educativa. *Universidad CEU Cardenal Herrera*. <https://dspace.ceu.es/server/api/core/bitstreams/fb237235-ec83-4e64-a524-78b9aec18b31/content>
- Gómez, E. G., Cruz, L. A., Zapata, V. R. y Morales, R. F. (2015). Nivel de conocimiento que tienen los pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2 en relación a su enfermedad. *Salud*



en Tabasco, 2(1): 17-25. <https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/ssaludtabasco/17.pdf>

Gómez, M.I., Calderón, C.R., Márquez, G.L. y Vásquez, P.M. (2018). Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento Farmacológico de la Diabetes Mellitus Tipo 2 en el Primer Nivel de Atención. Guía de evidencias y Recomendaciones. México. Instituto Mexicano del Seguro Social. <http://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/718GER.pdf>

González, A. J., & Pazmiño S. M. (2015). Cálculo e interpretación del Alfa de Cronbach para el caso de validación de la consistencia interna de un cuestionario, con dos posibles escalas tipo Likert. *Revista Social Science Open Access Repository*, 2(1): 62-67. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-423821>

Hernández, S. R., Fernández, C. C. y Baptista, L. P. (2014). *Metodología de la investigación 6ª edición*. McGraw-Hill Interamericana Editorial, S.A. de C.V. México. D.F.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2021) Estadísticas a propósito del día mundial de la diabetes. Comunicado de prensa Núm. 645/21 12 de noviembre de 2021 página 1/5. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP_Diabetes2021.pdf

International Diabetes Federation [IDF]. (2021). Atlas de la Diabetes de la FID 10ª edición 2021. https://fmdiabetes.org/wp-content/uploads/2022/01/IDF_Atlas_10th_Edition_2021-comprimido.pdf

López, L. E., Ortiz, G. A. y López, C. M. (2016). Intervención educativa sobre el nivel de conocimientos en pacientes con diabetes y baja o nula escolaridad. *Investigación en Educación Médica*, 5(17): 11-16. <https://www.scielo.org.mx/pdf/iem/v5n17/2007-5057-iem-5-17-00011.pdf>

Marriner, T.A. y Raile, A.M. (2018). *Modelos y teorías en enfermería*. 9ª edición. Elsevier. Madrid. España.

Naranjo, H.Y., Concepción, P.J. y Rodríguez, L.M. (2017). La teoría Déficit de autocuidado: Dorothea Elizabeth Orem. *Gaceta Médica Espirituana*, 19(3): 80-100. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1608-89212017000300009

Ortiz, A.L. (9 diciembre 2016). *El rol del paciente en el cuidado de su salud*. Coaching de Salud. <http://coachingdesalud.com/rol-del-paciente-cuidado-salud/>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2015). Cumbre de desarrollo sostenible 2015. Nueva York, Estados Unidos de América, <http://www.who.int/mediacentre/events/meetings/2015/un-sustainable-development-summit/es/>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2018). Diabetes Datos y cifras. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>



- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (16 septiembre 2023). Enfermedades no transmisibles. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/noncommunicable-diseases>
- Organización Mundial de la Salud (2008). Resumen del Informe sobre la salud en el mundo 2008: La atención primaria de salud, más necesaria que nunca. Ginebra, Suiza. <http://www.who.int/whr/2008/es/>
- Quiroz, G. A., Morales, S. M., Aguilera, T.L., Cárdenas, C. A. y Castruita, D. S. (2021). *Validación del inventario de autocuidado para las personas que viven con diabetes*. Antuna Canales Ana Betariz (Compiladora), *Enfermería comprometida con la salud y el bienestar de la población* (135- 153). Universidad Juárez del Estado de Durango. https://www.researchgate.net/publication/390058084_Validacion_del_inventario_de_autocuidado_para_las_personas_que_viven_con_diabetes
- Rico, S. R., Juárez, L. A., Sánchez, P. M. y Muñoz, A. L. (2020). Nivel de Conocimientos, Estilos de Vida y Control Glicémico en Pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2. 12(1): 1-28 https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1988-348X2018000100006
- Ruiz M. L. (21 mayo 2019). *Alfa de Cronbach (α): qué es y cómo se usa en estadística*. Portal Psicología y Mente. <https://psicologiyamente.com/miscelanea/alfa-de-cronbach>
- Secretaria de Salud (5 febrero 2019) El papel del paciente. Gobierno de México. <http://infocancer.org.mx/?c=pacientes-y-medicos&a=papel-paciente>
- Secretaria de Salud [SS]. (03 mayo 2018). *PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-015-SSA2-2018, Para la prevención, detección, diagnóstico, tratamiento y control de la Diabetes Mellitus*. Diario Oficial de la Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5521405&fecha=03/05/2018&print=true
- Secretaria de Salud [SS]. (20 octubre 2019). *NORMA Oficial Mexicana NOM-015-SSA2-2010, Para la prevención, tratamiento y control de la diabetes mellitus*. Diario Oficial de la Federación. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4215/salud/salud.htm>
- Soler, S. Y., Pérez, R. E., López, S. M. y Quezada, R. D. (2016). Conocimientos y autocuidado en pacientes con diabetes mellitus tipo 2. *Revista Archivo Médico de Camagüey*. 20(3): 244-252. <http://scielo.sld.cu/pdf/amc/v20n3/amc040306.pdf>
- Suárez, L.B. y Maggi, G. B. (2020). Escala de Likert en el nivel de conocimiento de Diabetes Tipo 2 en la provincia de Santa Elena. *Revista Ciencias Pedagógicas e Innovación*. 8(1): 78-83 <https://incyt.upse.edu.ec/pedagogia/revistas/index.php/rcpi/articulo/view/346/444>
- Ulloa, S. I. (2017). Proceso de Enfermería en la persona con Diabetes Mellitus desde la perspectiva del autocuidado. *Revista Cubana de Enfermería*. 33(2): 1-17. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03192017000200019



Vergara, S.M., Anarte, R. C., Masoliver, F.A. y Herrero, C.N. (2016). Conocimiento sobre su enfermedad de los pacientes diabético tipo 2. *Enfermería Comunitaria*. Mayo. 5(2): 24-34. <https://www.seapaonline.org/publicaciones/primavera-2017>.



EFFECTO DE LA INTERFASE SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DEL ESFUERZO LOCAL Y LA RESPUESTA ELÁSTICA DE MATERIALES COMPUESTOS

EFFECT OF INTERFASE ON LOCAL STRESS DISTRIBUTION AND THE ELASTIC RESPONSE OF COMPOSITE MATERIALS

RIVERA SALINAS, Jorge Enrique

MORALES AMAYA, Corazón
Giovanna

RESUMEN

Los materiales compuestos exhiben propiedades mecánicas controladas por el nivel de adhesión interfacial que une a sus fases constitutivas. Este trabajo demuestra el rol crítico de la interfase en la distribución del esfuerzo local y, por ende, en la rigidez global de los materiales compuestos. Se llevó a cabo análisis por elementos finitos basado en micromecánica mediante una celda unitaria bidimensional (2D), con una matriz flexible y partículas rígidas embebidas considerando dos escenarios interfaciales: una unión ideal (coherente) y una unión débil. Las simulaciones se validaron con modelos analíticos clásicos de micromecánica, como el de Shioya y de teoría de campo medio como el de Mori-Tanaka, obteniendo una diferencia menor al 6 % de desviación. Los resultados mostraron que una interfase débil genera mayor concentración de esfuerzo local en la región ecuatorial de las partículas— duplicando los valores respecto a una interfase ideal— lo que incrementa la probabilidad de falla. En contraste, una interfase coherente favorece la transferencia efectiva de carga, incrementando el módulo elástico del compuesto respecto a la matriz pura. Ya que el índice crítico para determinar el rendimiento de un material es el módulo elástico —el cual influye directamente en el diseño de las estructuras— los resultados obtenidos aportan criterios de diseño aplicables a sistemas poliméricos, cerámicos y metálicos donde la sinergia entre fases define su funcionalidad.

Palabras clave: materiales compuestos; interfase; micromecánica; análisis de elementos finitos; rigidez efectiva.

Centro de Investigación en
Química Aplicada, Saltillo,
Coahuila, México

Correspondencia
enrique.rivera@ciqa.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-5968-1782>
Fecha de recepción
4 de julio de 2025.
Fecha de aceptación
16 de enero de 2026.

ABSTRACT

Composite materials exhibit mechanical properties governed by the level of interfacial adhesion that binds their constituent phases. This work demonstrates the critical role of the interface in the distribution of local stress and, consequently, in the overall stiffness of composite materials. Micromechanics based finite element analysis was carried out using a two-dimensional (2D) unit cell, with a compliant matrix and embedded rigid particles, considering two interfacial scenarios: an ideal (coherent) bond and a weak bond.

The simulations were validated with classical analytical micromechanical models, such as Shioya's model and mean-field theory approaches like the Mori-Tanaka model, showing less than 6% deviation. The results revealed that a weak interface produces a higher local stress concentration in the equatorial region of the particles—doubling the values compared to an ideal interface—which increases the probability of failure. In contrast, a coherent interface promotes effective load transfer, enhancing the composite's elastic modulus relative to the pure matrix.

Since the critical parameter for determining a material's performance is the elastic modulus—which directly influences structural design—the results obtained provide design criteria applicable to polymeric, ceramic, and metallic systems where the synergy between phases defines their functionality.

Keywords: composite materials; interface; micromechanics; finite element analysis; effective stiffness

INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos se diseñan a partir de dos o más materiales, con el objetivo de lograr un desempeño superior al que los constituyentes pueden ofrecer individualmente. En términos generales, estos materiales se conforman por dos o más entidades con una interfase reconocible entre ellas. La sinergia positiva de los materiales compuestos depende en gran medida de factores como la fracción volumétrica, la habilidad de interacción entre las fases (interfase) y su arreglo geométrico o distribución. Típicamente, la fase continua se denomina matriz y tiene la función de sostener y cohesionar los



constituyentes, mientras que el reforzante o inhomogeneidad aporta la rigidez necesaria para soportar la carga externa aplicada (Nemat y col., 1998).

El parámetro crítico para el diseño estructural es el módulo elástico o rigidez del material, directamente establecido por la distribución de esfuerzos y deformaciones a nivel microestructural. En ese sentido, es necesario estudiar la relación entre el estado de esfuerzo local y la respuesta efectiva del compuesto para comprender su comportamiento mecánico efectivo.

La modelación matemática basada en micromecánica ofrece un marco riguroso y sistemático para analizar el comportamiento de materiales multicomponentes, ya que describe explícitamente la distribución de esfuerzo y tensión a nivel microestructural permitiendo la transición de información de la micro a la macroescala mediante el uso de una celda unitaria (CU) o un elemento de volumen representativo (EVR) (Nemat y col., 1998). Estas metodologías han sido ampliamente utilizadas para estimar las propiedades mecánicas efectivas y analizar las deformaciones en sistemas heterogéneos, tanto mediante modelos analíticos como numéricos.

A partir de los principios variacionales de la energía, se han desarrollado teorías micromecánicas para predecir los límites superiores e inferiores del módulo elástico como las estimaciones de Hashin-Strikman (Hashin y col., 1963). Sin embargo, la respuesta efectiva de los materiales compuestos depende en gran medida de las condiciones interfaciales, las cuales pueden verse afectadas por defectos de unión, desprendimiento o fractura (Qu, 1993). Por esta razón, se han propuesto modelos micromecánicos en teoría de campo medio, o auto consistente (considera la interacción entre los constituyentes), como el método de Mori-Tanaka (M-T). El método de M-T permite incorporar el efecto de la adhesión interfacial para predecir el módulo efectivo de los materiales compuestos en presencia de daño interfacial, asumiendo una capa delgada de la interfase, en la cual, ocurren tracciones interfaciales continuas, mientras que los desplazamientos en ambos lados de la interfase son discontinuos en el límite donde desaparece el espesor de dicha interfase (Kim y col., 2019).

Por otra parte, el análisis de elemento finito (FEA) basado en micromecánica constituye una herramienta numérica robusta que, permite abordar características microestructurales complejas (Arreola y col., 2018), tiene la posibilidad de implementar un amplio rango de modelos constitutivos no lineales y elementos especializados en las fronteras que representan

efectivamente la interacción matriz-reforzante. Dichos elementos permiten analizar el estado de unión en sistemas multicomponentes, como el caso de los materiales compuestos, conectando a la matriz y refuerzo mediante una fuerza que es proporcional a los desplazamientos discontinuos correspondientes (Bolson y col., 2022, Wu-Gui y col., 2014, Inoue y col., 2019, Rivera y col., 2024).

Estudios numéricos previos demuestran que el FEA basado en micromecánica ha mejorado la capacidad de adaptar las propiedades de materiales multicomponentes, como mezclas poliméricas (dos fases) y materiales compuestos (matriz con inclusiones embebidas), entre otros. Por ejemplo, Rivera y col., (Rivera-Salinas y col., 2020) realizaron un estudio numérico para analizar el efecto que tiene la porosidad y geometría del reforzante, en los compuestos de aluminio (Al) y carburo de silicio (SiC) asumiendo que la interfase Al/SiC es coherente o está perfectamente unida. Los resultados mostraron que el módulo efectivo es sensible a la porosidad en la matriz de Al, y los defectos en la interfase actúan como concentradores de esfuerzo. Además, los compuestos con partículas de SiC porosas exhiben un comportamiento elástico efectivo similar al de los compuestos con porosidad en la interfase, cuando las partículas son angulares. Los resultados numéricos se validaron comparando las predicciones contra datos experimentales del módulo elástico de compuestos Al/SiC, y evidenciaron situaciones que pueden llevar a la interpretación errónea de los resultados experimentales.

Rivera y col. (2024) realizaron un estudio numérico de micromecánica para comprender el efecto que tiene el grado de adhesión interfacial sobre la distribución del esfuerzo local, y la respuesta efectiva en una mezcla de ácido poliláctico (PLA) y almidón termoplástico (TS). Considerando una geometría esférica de la fase dispersa predijeron y analizaron sistemáticamente datos experimentales en tensión del módulo elástico, reportados en la literatura a distintas fracciones volumétricas en el rango de 10 a 20%. Encontraron que el esfuerzo se distribuye uniformemente en la fase dispersa (TS), con un valor mucho menor que el esfuerzo portado por la fase continua (PLA), y que la mayor concentración de esfuerzo se ubica en la interfase PLA/TS, en el ecuador de la partícula independientemente del grado de adhesión. En ese sentido, el PLA es el componente de la mezcla que soporta la mayor porción de la carga externa, independientemente del grado de adhesión interfacial, esto debido a que es el constituyente más rígido, evidenciando que, favorecer la adhesión interfacial en ese tipo de mezclas no favorece su rigidez efectiva.

Ghouse y col., (Ghouse y col., 2011) utilizaron la simulación numérica para analizar explícitamente el comportamiento microscópico y la respuesta efectiva de compuestos de mortero reforzados con agregados gruesos, adoptando una interfase ideal o coherente y un comportamiento frágil de la interfase. Observaron que la presencia de una interfase débil reduce la capacidad de que el material soporte carga externa ya que promueve la formación de poros en la propia interfase.

Gupta y col. (2015) a través del análisis de elementos finitos, cuantificaron los efectos del tamaño y forma de las inclusiones suaves y duras, en la formación de huecos y su evolución a través de la interfase matriz-inclusión. Observaron que la forma de la inclusión impacta en la magnitud de la concentración de esfuerzo. Las inclusiones duras inducen la formación de huecos en la interfase cuando la ésta es débil, y el tamaño de los huecos incrementa conforme al tamaño de partícula. Por otro lado, para interfases coherentes, los esfuerzos se concentran en las partículas cuando la inclusión es dura, y en la matriz cuando la inclusión es suave.

Los estudios previamente mencionados sobre el comportamiento mecánico de los materiales compuestos destacan la importancia de correlacionar sistemáticamente los campos de esfuerzo y tensión local a nivel microestructural, con la respuesta efectiva del material. En particular, para el diseño de los materiales compuestos, analizar aspectos críticos de manera sistemática, como el tipo de interfase, permite comprender su efecto sinérgico y mejorar su diseño.

Considerando que la interfase juega un papel fundamental en la respuesta macroscópica de los materiales compuestos, el presente trabajo tiene como objetivo analizar el efecto del tipo de interfase (coherente o débil) sobre la distribución del esfuerzo local y la respuesta elástica de un material compuesto mediante un enfoque análisis de elementos finitos basado en micromecánica.

Se plantea como hipótesis que la optimización de la interfase de los materiales compuestos constituye una estrategia efectiva para extraer el potencial de los reforzantes y controlar las propiedades mecánicas efectivas.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El desarrollo del modelo se basó en un enfoque micromecánico que adopta el concepto de celda unitaria (CU) de tipo cuadrada y bidimensional (2 D),

representativa del volumen del material compuesto. Este enfoque permite analizar sistemáticamente la influencia de la interfase sobre la distribución de esfuerzos locales y la rigidez efectiva del compuesto (Rivera-Salinas y col., 2024).

Las propiedades elásticas de la matriz y la partícula reforzante (inhomogeneidad) se designaron como $E_m = 1 Pa$, $v_m = 0.25$ y $E_i = 10 Pa$, $v_i = 0.25$, respectivamente, donde E_α es el módulo elástico y v_α el coeficiente de Poisson ($\alpha = m, i$, donde m corresponde a la matriz e i a la partícula o inhomogeneidad). La fracción volumétrica de la partícula se consideró en el rango de 10 a 30 %.

Los campos de esfuerzo y deformación del compuesto, sometido a deformación extensional, se calcularon utilizando la ecuación de equilibrio (Ecuación 1).

$$\nabla \cdot \sigma = 0 \quad (1)$$

Donde σ es el tensor de esfuerzo. Se adoptó un modelo elástico lineal isotrópico para describir la relación esfuerzo-deformación, como se demuestra en la ecuación 2.

$$\sigma = D\varepsilon \quad (2)$$

Donde D , ε son la matriz de rigidez y la tensión, respectivamente. El efecto de la interfase se incorporó mediante una fuerza que conecta la matriz con la partícula reforzante, proporcional a los desplazamientos discontinuos en la frontera común, según en la ecuación 3.

$$f^m = -f^f = K_s (u^m - u^f) \quad (3)$$

Donde, f^m, f^f, K_s, u^m, u^f son la fuerza/unidad de área en la matriz, la fuerza/unidad de área en la partícula, la matriz de rigidez, y los desplazamientos en la matriz y la partícula, respectivamente. Los esfuerzos y tensiones macroscópicas se obtuvieron como el promedio del área superficial (Ω) de los esfuerzos y deformaciones microscópicas con las ecuaciones 4 y 5.

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\Omega} \int_{\Omega} \sigma(x, y) d\Omega \quad (4)$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{\Omega} \int_{\Omega} \varepsilon(x, y) d\Omega - \frac{1}{2\Gamma} \int_{\Gamma} (u \otimes n + n \otimes u) d\Gamma \quad (5)$$

Donde Γ representa la longitud de la interfase. El último término de la ecuación 5 es la tensión efectiva que resulta por los desplazamientos discontinuos en la interfase (Achenbach y Zhu, 1989).

El módulo elástico efectivo del compuesto se obtuvo aplicando la Ley de Hook generalizada, sustituyendo los resultados de las ecuaciones 5 y 6. Las ecuaciones se resolvieron en el software COMSOL Multiphysics, utilizando un enfoque totalmente acoplado donde el campo de desplazamientos se aproximó con elementos triangulares cuadráticos. Soluciones independientes del mallado convergieron con ~ 800 elementos. La celda unitaria está sujeta a condiciones de borde que imitan la deformación extensional como se muestra en la Figura 1, donde f_x es la fuerza aplicada. El sistema de ecuaciones lineales que resultan en cada iteración se resolvieron utilizando el solucionador directo del tipo MUMPS (Rivera y col., 2023).

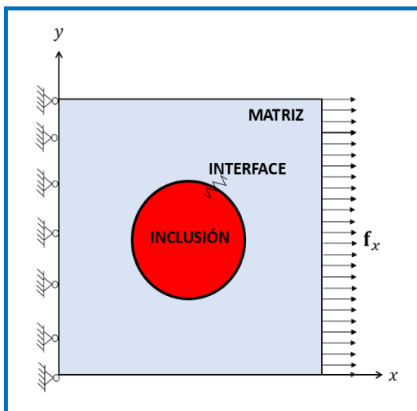


Figura 1. Celda unitaria y sus correspondientes condiciones de borde.

VERIFICACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MODELADO

Para validar la estrategia de modelado y su solución numérica, los resultados obtenidos se compararon con soluciones analíticas ampliamente aceptadas en la literatura de micromecánica, como el modelo de Shioya (Shioya, 1967), que predice el esfuerzo máximo (σ^{max}) en la frontera matriz-inhomogeneidad, y el método de Mori-Tanaka (M-T), que permite estimar el módulo elástico efectivo de materiales

compuestos (L^{eff}) considerando el efecto interfacial (Kim y col., 2019).

El modelo de Shioya (Shioya 1967) considera la deformación elástica de una inhomogeneidad circular en una placa semi-infinita sometida a una carga de tracción uniforme de acuerdo con la ecuación 6.

$$\sigma^{max} = \sigma^0 \left[\frac{1}{(1 + \nu_m) + (1 + \nu_i)\beta} + \frac{2}{(3 - \nu_m) + (1 + \nu_i)\beta} \right], \beta = \frac{E_m}{E_i} \quad (6)$$

Donde, σ^0 es la tracción aplicada, y β representa la relación de módulos de elasticidad (E_α $\alpha = m, i$, donde m corresponde a la matriz e i a la partícula o inhomogeneidad).

Por otro lado, el método de Mori-Tanaka está descrito por las siguientes ecuaciones (Kim y col., 2019).

$$\mathbf{T}^M = \left[\mathbf{I} + \mathbf{S} : \mathbf{L}^{m-1} : (\mathbf{L}^i - \mathbf{L}^m) + \frac{\gamma_s}{R} (\mathbf{I} - \mathbf{S}) \mathbf{L}^i : \mathbf{L}^{m-1} : \mathbf{L}^i \right]^{-1} \quad (7)$$

Donde, \mathbf{T}^M , \mathbf{I} , \mathbf{S} , \mathbf{L}^m , γ_s , R , y \mathbf{L}^i son el tensor de tensión modificado, la matriz identidad, el tensor de Eshelby para inclusiones esféricas, el tensor de rigidez elástico de la matriz, el efecto interfacial, el radio de la inhomogeneidad, y el tensor de rigidez elástica de la inhomogeneidad, respectivamente.

$$\mathbf{L}^{eff} = \left[\phi_m \mathbf{L}^m + \phi_i \mathbf{L}^i : \mathbf{T}^M \right] : \left[\phi_m \mathbf{I} + \phi_i \mathbf{T}^M + \phi_i \frac{\gamma_s}{R} \mathbf{L}^i : \mathbf{T}^M \right]^{-1} \quad (8)$$

Donde, ϕ_m , ϕ_i son la fracción volumétrica de la matriz y la inhomogeneidad, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Figuras 2 y 3 muestran la distribución de esfuerzos en la matriz e inhomogeneidad bajo deformación extensional para dos tipos de interfase estudiados.

En el caso de una interfase ideal o coherente (Figura 2), el esfuerzo máximo se concentra en la frontera matriz-partícula, particularmente en los polos de la inhomogeneidad, alcanzando una magnitud de 0.14 Pa. Este esfuerzo se distribuye de manera uniforme en el interior de la partícula o inhomogeneidad y disminuye progresivamente hacia la matriz, donde el valor mínimo es de aproximadamente 0.09 Pa. En la región ecuatorial de la inhomogeneidad se observa un descenso súbito del esfuerzo en la región de la matriz con un valor de 0.03 Pa, seguido de un incremento gradual hasta 0.09 Pa. Estos resultados concuerdan con los reportados por Xie y col., (Xie y col., 2011), y Ghose y col., (Ghose y col., 2011), quienes demostraron que en sistemas con inclusiones rígidas y óptima adhesión interfacial, el esfuerzo se transfiere eficientemente a través de la frontera coherente desde la matriz hacia el reforzante.

Por otra parte, utilizando el modelo propuesto por Shioya (Shioya, 1967), Ecuación (6), para predecir el valor del esfuerzo máximo en la frontera de la

matriz y la inhomogeneidad, guía a un valor analítico de 0.145 Pa. Midiendo la diferencia entre el valor numérico y el analítico del esfuerzo máximo con

$$\left| \frac{(\sigma_{\text{analítico}}^{\text{max}} - \sigma_{\text{numérico}}^{\text{max}})}{\sigma_{\text{analítico}}^{\text{max}}} \right|, \text{ se obtiene una diferencia de } \sim 3.5\%, \text{ indicando}$$

que la predicción numérica concuerda satisfactoriamente con el resultado analítico.

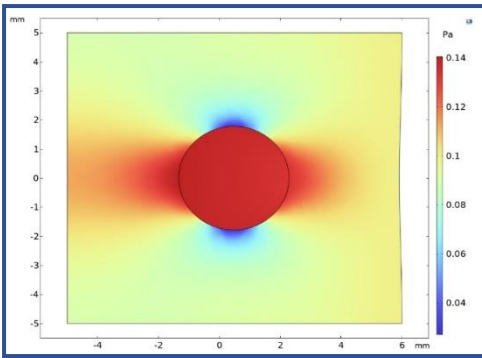


Figura 1. Distribución de esfuerzo local en un compuesto con interfase ideal o coherente.

En el caso de la interfase débilmente unida (Figura 3), el esfuerzo máximo alcanza 0.27 Pa, y se concentra principalmente en la matriz en una zona adyacente al ecuador de la partícula. En este escenario, el esfuerzo portado por la inhomogeneidad es virtualmente nulo indicando que el constituyente del compuesto que soporta la carga externa aplicada es la matriz. Se observan cavidades

alargadas en los polos de la partícula que evidencian la separación de la interfase matriz-partícula. El esfuerzo que se desarrolla en la matriz adyacente a tales cavidades tiene un valor prácticamente nulo.

Comparando ambos casos, se puede observar que, una interfase débil genera mayores concentraciones de esfuerzo local, duplicando los valores obtenidos para una unión ideal. Esto implica una mayor probabilidad de alcanzar esfuerzos críticos de falla e iniciación de grietas, especialmente en la región de la matriz cercana al ecuador de la partícula. Esto revela el rol crucial que tiene la interfase para que la matriz logre transferir el esfuerzo hacia el reforzante, y permitir que los constituyentes creen sinergia mecánica e incrementen la rigidez del compuesto.

Los resultados de este trabajo demuestran que el tipo de adhesión interfacial—ideal (coherente) o débil— no solo determina cuál de las fases presentes en un material compuesto —matriz o reforzante— cargará la mayor porción de la fuerza externa aplicada, sino que también influye significativamente en la región de concentración de esfuerzos y en su magnitud. Ejemplos de implicación práctica que tiene una buena adhesión interfacial a parte de incrementar la rigidez de los compuestos como resultado de una transferencia eficiente de esfuerzo entre la matriz y el reforzante, es que también mejora la

tenacidad y resistencia al impacto ya que evita la formación y propagación de grietas al reducir la concentración de esfuerzo en la matriz (Rivera y col., 2024), y reduce la posibilidad de delaminación en los compuestos, entre otras.

Por otra parte, cabe destacar que las predicciones numéricas sobre la magnitud y ubicación del máximo esfuerzo concentrado en función del tipo de interfase, concuerdan favorablemente con los reportado por Thornton (Thornton, 1971).

Respecto a la respuesta efectiva en la rigidez o módulo elástico del compuesto, la Figura 4 muestra el efecto que tienen el tipo de interfase (ideal o débil) y la fracción volumétrica (ϕ), la cual varía en 10, 20 y 30 %. Las predicciones numéricas se presentan con una línea azul y verde, para la interfase ideal y débil, respectivamente. En la Figura 4 también se presentan las predicciones del módulo efectivo predicho con el método de Mori-

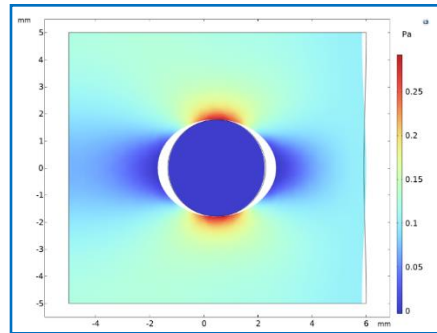


Figura 3. Distribución de esfuerzo local en un compuesto con interfase débil.

Tanaka (M-T) con efecto interfacial (Ecuaciones (7) y (8)). Las estimaciones analíticas se presentan con un círculo rojo y un rombo negro, para la interfase ideal y débil, respectivamente. En el escenario de la interfase ideal o coherente, se observa que el módulo de elasticidad del compuesto incrementa debido a que existe una transferencia de esfuerzo óptima desde la matriz hacia el refuerzo, cerca de duplicar el valor de la matriz pura cuando el contenido de partículas es de 30 %. Sin embargo, en el caso opuesto donde la interfase es débil, se observa que para una cantidad relativamente baja de reforzante (10 %) aumenta la rigidez del compuesto respecto al valor de matriz pura un 20 %, y a partir de esa concentración de reforzante (10 %) la rigidez disminuye ligeramente conforme incrementa la cantidad de reforzante, debido a que independientemente la cantidad de reforzante, la mayor parte de la carga externa la soporta la matriz del compuesto. Por otro lado, una comparación entre los resultados predichos numéricamente y de

forma analítica con el método de M-T utilizando $\left| \frac{(E_{M-T} - E_{numérico})}{E_{M-T}} \right|$

indica una desviación máxima del 6 %, la cual corresponde al escenario de una interfase débil con fracción volumétrica del 30 %, ($E_{numérico} = 1.186$ Pa y

$E_{M-T} = 1.116 \text{ Pa}$), indicando que la predicción numérica está en buena concordancia con el resultado analítico. Es importante mencionar que el método de M-T es particularmente apropiado cuando el contenido de reforzante es relativamente bajo debido a que el modelo se concibió bajo el enfoque de concentración diluida (Nemat y col., 1998).

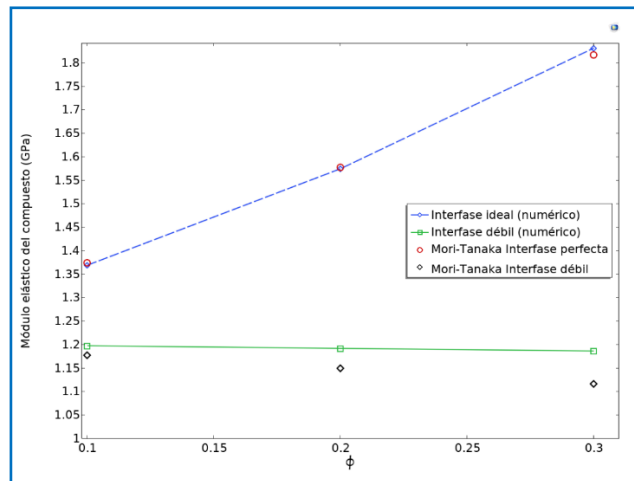


Figura 4. Efecto del tipo de interfase (ideal o débil) y fracción volumétrica en el módulo elástico efectivo de un compuesto.

Este tipo de análisis puede extrapolarse a sistemas poliméricos, metálicos y cerámicos utilizados en aplicaciones estructurales, donde la sinergia entre fases determina su rendimiento. Finalmente, se reconoce que el modelo está simplificado por la geometría bidimensional. Sin embargo, estos supuestos establecen una base sólida para futuras extensiones tridimensionales, las cuales pueden incorporar comportamiento plástico, daño progresivo o condiciones de carga más complejas.

CONCLUSIONES

El análisis por elementos finitos basado en micromecánica permitió comprender de forma sistemática el papel que desempeña la interfase en la distribución del esfuerzo local y en la rigidez efectiva de los materiales compuestos.

Se verificó que el tipo de interfases influye de manera decisiva en la magnitud y la ubicación del esfuerzo máximo concentrado. En los sistemas con interfase ideal o coherente, el esfuerzo máximo se localiza principalmente en el refuerzo, debido a la transferencia eficiente de carga lo que implica un incremento notable en la rigidez global. Por el contrario, en los compuestos con interfase débil, el esfuerzo se concentra principalmente en la matriz y duplica su magnitud respecto al caso ideal repercutiendo en la posible formación de grietas prematuras.

El modelo numérico desarrollado mostró buena concordancia con las soluciones analíticas de Shioya y Mori-Tanaka, validando la estrategia de modelado adoptada y confirmando su aplicabilidad para predecir el comportamiento mecánico en la escala micro y macro en materiales compuestos.

En conjunto, los resultados evidencian que el control de la adhesión interfacial es un parámetro crítico para optimizar la respuesta mecánica de los compuestos. Fomentar una unión coherente entre matriz y refuerzo permite diseñar materiales con mayor rigidez y confiables lo cual es particularmente relevante en aplicaciones estructurales.

Finalmente, este estudio proporciona una base sólida para la extensión del modelo a sistemas tridimensionales y a condiciones de carga complejas, con el fin de evaluar el efecto combinado de la adhesión interfacial y deformaciones no lineales en el comportamiento global del material.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo a la SECIHTI (Proyecto 809), al Centro de Investigación en Química Aplicada, y al LANIAUTO (Proyecto 321156).

REFERENCIAS

- Achenbach, J. D., & Zhu, H. (1989). Effect of interfacial zone on mechanical behavior and failure of fiber-reinforced composites. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 37(3): 381-393. [https://doi.org/10.1016/0022-5096\(89\)90005-7](https://doi.org/10.1016/0022-5096(89)90005-7)
- Arreola-Herrera, R., Cruz-Ramírez, A., Rivera-Salinas, J. E., Romero-Serrano, J. A., & Sánchez-Alvarado, R. G. (2018). The effect of non-metallic inclusions on the mechanical properties of 32 CDV 13 steel and their mechanical stress analysis by numerical simulation. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 94: 134-146. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2018.01.013>
- Ghouse, M. D., RAO, C. L., & Rao, B. N. (2011). Numerical modelling of failure of cement concrete using a unit cell approach. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 36(1): 35–51. <https://doi.org/10.1007/s12046-011-0008-6>
- Gupta, A., Goyal, S., Padmanabhan, K. A., & Singh, A. K. (2015). Inclusions in steel: micro–macro modelling approach to analyse the effects of inclusions on the properties of steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(1–4): 565–572. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6464-5>
- Hashin, Z., & Shtrikman, S. (1963). A variational approach to the theory of the elastic behaviour of multiphase materials. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 11(2): 127-140. [https://doi.org/10.1016/0022-5096\(63\)90060-7](https://doi.org/10.1016/0022-5096(63)90060-7)
- Inoue, Y., Ikawa, T., & Okabe, T. (2019). Validation of micromechanics models including imperfect interfaces for short fiber thermoplastic composites. *Advanced Composite Materials*, 28(6): 625-638. <https://doi.org/10.1080/09243046.2019.1630049>
- Jiang, W. G., Zhong, R. Z., Qin, Q. H., & Tong, Y. G. (2014). Homogenized finite element analysis on effective elastoplastic mechanical behaviors of composite with imperfect interfaces. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(12): 23389-23407. <https://doi.org/10.3390/ijms151223389>
- Lee, S., Kim, Y., Lee, J., & Ryu, S. (2019). Applicability of the interface spring model for micromechanical analyses with interfacial imperfections to predict the modified exterior Eshelby tensor and effective modulus. *Mathematics and Mechanics of Solids*, 24(9): 2944-2960. <https://doi.org/10.1177/1081286519826343>
- Nemat-Nasser, S., Lori, M., & Datta, S. K. (1996). Micromechanics: Overall Properties of Heterogeneous Materials. *Journal of Applied Mechanics*, 63(2): 56.1 <https://doi.org/10.1115/1.2788912>
- Qu, J. (1993). The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials. *Mechanics of Materials*, 14(4): 269-281. [https://doi.org/10.1016/0167-6636\(93\)90082-3](https://doi.org/10.1016/0167-6636(93)90082-3)



- Rivera-Salinas, J. E., Gregorio-Jáuregui, K. M., Romero-Serrano, J. A., Cruz-Ramírez, A., Hernández-Hernández, E., Miranda-Pérez, A., & Gutiérrez-Pérez, V. H. (2020). Simulation on the effect of porosity in the elastic modulus of SiC particle reinforced Al matrix composites. *Metals*, 10(3): 2-19. <https://doi.org/10.3390/met10030391>
- Rivera-Salinas, J. E., Gregorio-Jáuregui, K. M., Sánchez-Valdés, S., Gutiérrez-Pérez, V. H., Lara-Sánchez, J., Cruz-Ramírez, A., Rodríguez-González, F. J., & Ramírez-Vargas, E. (2024). Effect of interface on elastic and toughening behavior in poly lactic acid/thermoplastic starch blends: Micromechanical finite element analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, 141(4): 2-11. <https://doi.org/10.1002/app.54864>
- Shioya, S. (1966). On a Semi-Infinite Thin Plate with a Circular Inclusion under Uniform Tension. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, 32(236): 593-600. <https://doi.org/10.1299/kikai1938.32.593>
- Thornton, P. A. (1971). The influence of nonmetallic inclusions on the mechanical properties of steel: A review. *Journal of Materials Science*, 6 (4): 347-356. <https://doi.org/10.1007/PL00020378>
- Xie, J., Wang, A., Wang, W., Li, J., Yang, D., Zhang, K., & Ma, D. (2011). Stress field numerical simulation of the inclusions in large rudder arm steel casting. *Advanced Materials Research*, 311-313: 906-909. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.311-313.906>.

LAS COFRADÍAS DE ÁNIMAS DEL PURGATORIO EN SALTILLO Y SAN ESTEBAN

THE CONFRATERNITIES OF THE SOULS IN PURGATORY IN SALTILLO AND SAN ESTEBAN

BARRANCO MUÑOZ, Alejandro Quitze

CASTILLO FLORES, José Gabino

RESUMEN

Este trabajo analiza las Cofradías de Ánimas del Purgatorio de Santiago del Saltillo y San Esteban de la Nueva Tlaxcala (poblaciones que conformaron la ciudad de Saltillo) en el siglo XVIII. A partir de documentación de archivo, revisada con un enfoque histórico-social, se demuestra que estas hermandades fueron espacios de sociabilidad, caridad y control moral, donde la muerte se ritualizó como práctica comunitaria. A través de los libros de cargo y data, se reconstruye la economía devocional que sostuvo su funcionamiento y su papel en la administración de la memoria colectiva. Las cofradías aparecen como instituciones que mediaron entre la Iglesia católica y la sociedad, regulando la salvación y la ayuda mutua. El trabajo combina historia social, religiosidad popular y cultura material para comprender cómo el Purgatorio articuló vínculos, jerarquías y creencias en la frontera norte del virreinato.

Facultad de Ciencias Sociales,
Universidad Autónoma de
de Coahuila, Saltillo,
Coahuila, México.

Palabras clave: cofradías; purgatorio; religiosidad popular; muerte; memoria colectiva.

ABSTRACT

This study examines the Confraternities of the Souls in Purgatory of Santiago del Saltillo and San Esteban de la Nueva Tlaxcala (the two settlements that later formed the city of Saltillo) during the eighteenth century. Drawing on archival documentation analyzed from a social-historical perspective, it demonstrates that these brotherhoods functioned as spaces of sociability, charity, and moral regulation, where

Correspondencia
gabinocastillo@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2347-3639>
Fecha de recepción
22 de octubre de 2025.
Fecha de aceptación
28 de noviembre de 2025.

death was ritualized as a communal practice. Through the examination of account books, the study reconstructs the devotional economy that sustained their operation and their role in administering collective memory. The confraternities emerge as institutions that mediated between the Catholic Church and local society, regulating salvation and mutual aid. Combining social history, popular religiosity, and material culture, the article explores how the idea of Purgatory articulated bonds, hierarchies, and beliefs on the northern frontier of the viceroyalty.

Keywords: *grotherhoods; purgatory; popular religiosity; death; collective memory*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo busca analizar el funcionamiento religioso, social y económico de las cofradías de Ánimas del Purgatorio establecidas en Santiago del Saltillo y San Esteban de la Nueva Tlaxcala en el siglo XVIII. El propósito metodológico es articular la interpretación, basada en fuentes secundarias y debates historiográficos recientes, con el análisis directo de documentación extraída del Archivo Parroquial del Sagrario de la Catedral de Saltillo (APSCS) y de los Registros Parroquiales de la página de *FamilySearch*. Esto, con el fin de mostrar cómo los principios generales de las cofradías novohispana se concretaron en una práctica local. El estudio de las cofradías del periodo virreinal permite comprender las formas en que la religiosidad popular articuló lo social, lo económico y lo espiritual en la vida cotidiana del mundo novohispano.

Para cumplir nuestro objetivo, se adopta una historia social de la religiosidad, que privilegia el examen de los vínculos entre la espiritualidad y las formas de organización comunal. El enfoque parte de la premisa de que las cofradías no fueron meros reflejos de la jerarquía eclesiástica, sino espacios de agencia laica, donde los creyentes negociaban su lugar dentro del orden religioso y social (Taylor, 1999; Rubial, 2015). Así, el análisis se basa en tres niveles:

1. La normatividad y discurso fundacional de las cofradías, reconstruido a partir de sus constituciones y aprobaciones episcopales.
2. Las prácticas económicas y devocionales, observadas en libros de cargo y data, inventarios y registros de mayordomos.



3. Las implicaciones sociales y simbólicas de la participación cofrade, especialmente en torno a la muerte, la memoria y la distinción.

Las cofradías surgieron en Europa entre los siglos X y XIII, ligadas al desarrollo de los gremios urbanos y al fortalecimiento del culto a los santos y a los muertos. En la Nueva España, esas asociaciones encontraron un terreno fértil tras la conquista, extendiéndose en parroquias, conventos y pueblos de indios. Su función principal fue promover el culto divino, en particular el de las Ánimas del Purgatorio, el Santísimo Sacramento o advocaciones cristológicas y marianas. Más allá de la devoción, las cofradías ofrecían protección material en caso de enfermedad, accidente o muerte, constituyéndose en formas de seguridad social premoderna (Rodríguez, 2001), pero con límites de acceso determinados por la condición económica y étnica de los miembros (Gutiérrez y Carbajal, 2024). Como asociaciones de ayuda mutua, las cofradías constituyeron uno de los mecanismos más eficaces de seguridad material y salvación espiritual. Por esta razón fueron instrumentos de piedad colectiva y espacios de sociabilidad corporativa.

En efecto, la desigualdad social se reproducía incluso dentro de las prácticas piadosas, las cofradías de españoles, por ejemplo, cobraban mayores sumas de ingreso, mientras que las de castas o indios tenían cuotas más reducidas. Estas características generales pueden observarse en la cofradía de las Benditas Ánimas del Purgatorio del pueblo de San Esteban, fundada el 3 de noviembre de 1760 con autorización del obispo de Guadalajara, fray Francisco de San Buenaventura. Las constituciones, redactadas por el cura fray José Antonio Lazo y el vicario Agustín de Acosta, establecían que hombres y mujeres de “cualesquier estado y condición” podían incorporarse mediante el pago de un peso de entrada y medio real mensual, lo que permitía costear las misas y gastos del culto (Registros Parroquiales San Esteban Protomártir [RPSEP], 1760).

El documento fundacional precisa que todos los lunes del año debía celebrarse una misa por las Ánimas del Purgatorio y que los cofrades estaban obligados a asistir al rosario procesional por las calles del pueblo. También se estipulaba que, al morir un hermano, se debía decir una misa rezada con estipendio de un peso, asistir al entierro y rezar por su alma una estación mayor al Santísimo Sacramento (RPSEP, 1760). Estas disposiciones confirman que la cofradía no sólo gestionaba recursos espirituales, sino que aseguraba el acompañamiento a la hora de la muerte.

En términos de estructura la cofradía reproducía el modelo corporativo de otras instituciones virreinales. Los miembros elegían cada año un mayordomo, un ayudante y cuatro diputados, encargados de administrar los bienes, cobrar limosnas y rendir cuentas ante el vicario. El reglamento prohibía gastar “fuera de lo mencionado en las constituciones sin consentimiento del vicario juez eclesiástico y del cura”, lo que evidencia tanto la autonomía parcial de la cofradía como el control clerical sobre sus finanzas (RPSEP, 1760).

El carácter mixto y la apertura de membresía a “hombres y mugeres de cualesquier estado” sugieren que la cofradía de San Esteban buscó integrar a diversos sectores del vecindario. Las listas iniciales registran la participación de vecinos notables como don Esteban de los Santos, Pedro del Castillo y doña Josefa del Castillo, junto a músicos, cantores y mujeres del barrio de Santa Ana de Tlaxcala. Esta heterogeneidad muestra cómo las cofradías podían servir de espacio de convergencia entre élites locales, clérigos y sectores populares.

La fundación de la cofradía se inscribe en un contexto más amplio de institucionalización del catolicismo barroco en el norte novohispano. En regiones como Coahuila, las cofradías actuaron como vehículos de cohesión social y de cristianización territorial, bajo la supervisión del obispado de Guadalajara. Los archivos parroquiales conservan evidencias del seguimiento administrativo y de la aprobación formal emitida en 1760 por el promotor fiscal Joseph Reyes Gómez de Aguilar, quien reconoció que las constituciones estaban “arregladas” y dignas de aprobación (RPSEP, 1760). El obispo, al ratificarlas, concedió indulgencias a los cofrades que confesaran y comulgaran el día de los fieles difuntos, fortaleciendo así la economía espiritual de la cofradía y ratificando la presencia episcopal en los territorios del noreste.

Desde una lectura metodológica, el análisis de estos documentos (constituciones, registros de miembros y libros de cargo y data) permite observar a las cofradías como instituciones locales de poder simbólico y social. La fundación de 1760, de la cofradía de San Esteban, ilustra cómo la religiosidad barroca organizó la vida colectiva, regulando la relación entre riqueza, salvación y prestigio. Al estudiar el caso de Saltillo, se pone en evidencia la capacidad de las cofradías para articular estas variables mediante un sistema de reciprocidades y asistencia mutua. Así, podemos establecer como punto de partida que las cofradías de Ánimas del Purgatorio no fueron

entidades marginales, sino estructuras esenciales del tejido social novohispano. En ellas se conjugaron la fe, la economía y la sociabilidad. En su interior se negoció cotidianamente el sentido mismo de la salvación. El caso de Saltillo, documentado desde 1760, es un ejemplo revelador de cómo el catolicismo colonial se encarnó en prácticas colectivas de ayuda mutua, ritualidad y memoria.

ORGANIZACIÓN, JERARQUÍAS Y ECONOMÍA MORAL EN LAS COFRADÍAS DE ÁNIMAS

Las cofradías novohispanas fueron expresiones de piedad colectiva, pero también constituyeron auténticos microcosmos sociales. En ellas se reproducía y se negociaba el orden social. La pertenencia al grupo implicaba participación ritual, cuotas económicas y responsabilidades jerarquizadas. Por lo tanto, el poder devocional era mediador entre lo espiritual y lo material. Estas asociaciones permitían al creyente asegurar su salvación y recibir auxilio en caso de enfermedad o muerte, reforzando una lógica de diferenciación social. En efecto, el funcionamiento de las cofradías revela una economía de la gracia que dependía de la capacidad contributiva de los fieles (Taylor, 1999).

En el caso de la parroquia de Saltillo, los libros de cargo y data de la cofradía de las Benditas Ánimas del Purgatorio permiten observar la administración cotidiana de estos recursos. Entre 1760 y 1780, los mayordomos registraron entradas por limosnas, cuotas de hermanos, donaciones en especie y préstamos con réditos. Los egresos se destinaban principalmente a misas rezadas, compra de cera, copal, aniversario de difuntos y mantenimiento del altar y otras propiedades de la cofradía (APSCS, fondo cofradías, caja 10, expediente 1). Este tipo de registro revela la organización meticulosa del culto y la transparencia que se esperaba de los administradores. El mayordomo ocupaba un papel central en esta estructura. Elegido anualmente, rendía cuentas ante el cura y los diputados. El mayordomo de la cofradía de ánimas de la parroquia de Saltillo, el bachiller Ignacio de los Santos Coy, por ejemplo, presentaba informes de los reales cobrados a los cofrades y los réditos de los dineros prestados a miembros de la sociedad saltillense (APSCS, fondo cofradías, caja 10, expediente 1). Esta práctica evidencia que era común colocar fondos a réditos, es decir, prestar dinero a particulares con interés anual, mecanismo que convertía a las cofradías en actores financieros locales.



Estas actividades variaban, mientras que esta cofradía basaba sus capitales en el préstamo a créditos; la cofradía de Nuestra Señora del Rosario rentaba bestias mulares y otras poseían parras para producir vino. Como ha señalado Asunción Lavrín (2020), este tipo de capital piadoso fue una forma de inversión moralmente legitimada, que fortalecía la economía parroquial y aseguraba la circulación de recursos locales.

La estructura jerárquica interna también reproducía la estratificación social del Saltillo colonial. Aunque las constituciones permitían el ingreso de “personas de cualesquier estado y condición”, los cargos directivos recaían casi siempre en varones españoles o criollos acomodados. Los registros del archivo mencionan como mayordomos o diputados a personajes como José Ignacio de Arizpe, José Fernández de Castro y Marcos Botello, mientras que las mujeres, viudas o casadas, participaban como cofradas contribuyentes, donando cera o pagando misas. El caso excepcional estuvo en la cofradía del Santo Cristo, en donde una mujer fungió como mayordoma por un largo periodo (APSCS, Fondo Cofradías, Caja 5, Expediente 1). Este reparto funcional de roles de género era usual en las instituciones de la Iglesia colonial, la cual delegó a las mujeres funciones de piedad doméstica y sufragio, mientras los hombres monopolizaban la gestión institucional (Castillo, 2015).

Esta jerarquía no implicaba exclusión absoluta, la cofradía funcionaba como una red de interdependencias, donde ricos y pobres compartían el mismo horizonte escatológico. Todos, a su modo, contribuían al sostenimiento del culto. De esta forma, las cofradías generaban redes de ayuda mutua, una economía espiritual regulada por el clero (Taylor, 1999) y una circulación de bienes materiales orientada a la salvación espiritual. En ese sistema, el sufragio por las almas (misas, responsos, procesiones) constituía una forma de crédito simbólico que equilibraba las asimetrías sociales, sin que se confunda con nuestro concepto de igualdad contemporáneo.

Las fuentes de archivo revelan que, entre 1762 y 1770, la cofradía de Ánimas de la parroquia de Saltillo destinó entre el 60 y el 70 % de sus ingresos anuales a sufragios (APSCS, Exp. 1). La solemnidad del ritual materializaba el prestigio del grupo. Como ha explicado Antonio Rubial (2015), el barroco novohispano hizo de la visibilidad del rito un lenguaje de autoridad. Las cofradías, al financiar el esplendor del culto, legitimaban su existencia (Bechtloff, 1996). Desde el punto de vista historiográfico, el análisis de las cofradías en el noreste mexicano cuenta con antecedentes notables. El trabajo pionero de Edrei Durón



(2018) constituyó el primer estudio sistemático sobre las cofradías de Saltillo y San Esteban. Su tesis inauguró una línea de investigación que más tarde amplió en un artículo (Durón, 2025), donde examina la religiosidad como espacio de convivencia interétnica entre tlaxcaltecas y españoles. Estas aportaciones resultan esenciales para comprender el carácter integrador de las cofradías.

El caso de Saltillo, ubicado en la frontera norte de la diócesis de Guadalajara, muestra que la devoción a las Ánimas del Purgatorio sirvió como lenguaje común entre grupos diversos. Las constituciones de la cofradía del pueblo de San Esteban permiten leer esta voluntad integradora: “que todos los que quisieren hombres y mujeres de cualesquier estado, y condición que sean, así vecinos de este pueblo, como de esta villa del Saltillo, y de cualesquiera otra parte se puedan asentar por cofrades de esta Cofradía de las Benditas Ánimas del Purgatorio” (RPSEP, 1760).

En las cofradías también se observaban tensiones internas relacionadas con la administración de los bienes piadosos. Los libros de cargo y data muestran diferencias entre los ingresos y los montos cobrados por los mayordomos, así como notas marginales que evidencian retrasos o faltas de cobro a algunos cofrades (APSCS, Expediente 1). Estas dejan ver que, a pesar de las dificultades, los responsables rendían cuentas periódicamente.

En los registros de gasto aparecen varias menciones a desembolsos hechos “por libranza del señor vicario” y pagos dirigidos “al cura” o “al sacristán” por la celebración de misas y festividades (APSCS, Expediente 1). Tales expresiones demuestran que la administración cofrade operaba bajo una estrecha supervisión parroquial y que, en última instancia, existía un control diocesano que limitaba la autonomía de los mayordomos y aseguraba la ortodoxia en el uso de los fondos devocionales. En 1789 se señala:

En la villa de Santiago de Saltillo a los veinte y dos días del mes de febrero de mil setecientos noventa y un años: el Sr Br Don José Sánchez Duque Com. Del Santo Oficio de la Inquisición de la Nueva España examinador sinodal de este obispado cura por su M. y vicario Juez eclesiástico de esta villa [...] visitó y reconoció las cuentas que anteceden a la cofradía de las Benditas Animas fundada en la parroquia de esta villa presentadas por Francisco Benito Faboada hijo yerno y albacea testamentario de Juan de la Fuente Fernández mayordomo que fue de esta cofradía [...] y siendo necesario hacer la elección de mayordomo como es de

constitución [...] salió electo con todos los votos para mayordomo de esta cofradía Don José de Zeballos que estando presente aceptó gustoso el empleo de tal mayordomo por lo que se le dieron las debidas gracias encargándole que con su debido celo actividad y eficacia se dedique a solicitar los mayores aumentos de esta cofradía (APSCS, Expediente 1).

En conjunto, la organización de las cofradías de Ánimas revela un equilibrio complejo entre autonomía laica y tutela eclesiástica. Las prácticas contables, las elecciones anuales y la redistribución de fondos demuestran la capacidad de los fieles para sostener el culto con limosnas, préstamos y la participación ritual. Como en otras regiones de la Nueva España, la salvación era más que un asunto del alma, concernía al cuerpo social. Así, las cofradías de Ánimas del Purgatorio del Saltillo colonial encarnan esa economía moral de la salvación (Castillo, 2011).

RITUALES, CULTO Y CULTURA MATERIAL

La cofradía, como institución del catolicismo tenía un papel activo. Su vida cotidiana se desplegaba en los ritos, en los repiques de campanas y en la visualidad de los altares. En torno al culto se construía la comunidad y a través de los objetos (velas, lámparas, frontales, custodias o imágenes) se hacía visible el orden moral que la sustentaba. Si la administración económica garantizaba su permanencia, el culto ritualizado le daba sentido, legitimidad y prestigio. De acuerdo con Antonio Rubial (2021), el culto religioso fungía como elemento catalizador del orgullo o de la identidad religiosa.

En los archivos de Saltillo abundan ejemplos de esa religiosidad tangible. El Libro de cargo y data de la cofradía de Ánimas de Saltillo registra minuciosamente los gastos destinados a sostener las prácticas litúrgicas y procesionales. En 1762, por ejemplo, se anotó como parte de los bienes: “un colateral con dos cuerpos y dos lienzos, dos frontales negros, un Santo Cristo de metal con cantoneras y calaveras de plata en la cruz, un atril, una campanilla con su cadena, una alfombra, una bandera, una alabarda vieja y una bolsa de terciopelo en que se pide la limosna”, entre otras cosas (APSCS, fondo cofradías, caja 10, expediente 1). Estos objetos constituían los instrumentos materiales que hacían visible la comunión entre vivos y muertos.

Cada vela, cada imagen, era parte del lenguaje visual del más allá y sustentaba la idea de la comunión de los santos (Castillo, 2011).

El culto a las Ánimas del Purgatorio sintetizaba, pues, la sensibilidad barroca hacia la muerte. Lejos de concebirla como ruptura, se la entendía como tránsito y comunicación (Castillo, 2015). El ideal del buen morir implicaba una preparación constante: rezar, confesarse, sufragar, dejar pagadas las misas por el alma, etc. En ese horizonte, la cofradía cumplía una función insustituible. A través de sus ritos, cada miembro aseguraba el descanso de su alma y la prolongación de su memoria. La procesión anual, la misa cantada y los responsos eran los momentos en que la comunidad entera se reconocía en el espejo de la muerte.

Las constituciones de 1760 de la Cofradía de las Benditas Ánimas del Purgatorio de San Esteban disponían que cada lunes se celebrara una misa rezada por las almas del purgatorio y se sacara “el Rosario de las ánimas por las calles acostumbradas”. Además, el Día de Difuntos se oficiaría una misa solemne de aniversario por los hermanos difuntos con asistencia de todos los miembros (RPSEP, 1760). La repetición de estas ceremonias consolidaba una pedagogía ritual y el cofrade aprendía que la salvación era una empresa colectiva.

La práctica litúrgica iba acompañada de una estética del gasto. El análisis de los inventarios materiales de la cofradía de Ánimas de San Esteban de Tlaxcala confirma la riqueza y el esmero con que se cuidaban los bienes sagrados. Este repertorio de objetos revela una cultura material del culto que combinaba el ornato con la doctrina. Los lienzos del Purgatorio, por ejemplo, funcionaban como teologías pintadas, instrumentos de catequesis visual que recordaban a los fieles la urgencia de orar por las almas sufrientes.

La cofradía de ánimas de San Esteban contaba con un cuadro con ánimas purgantes elaborado, posiblemente, en la década de 1760, patrocinado por Juan Landín (Durón, 2018; APSCS). Mientras que, la cofradía de la parroquia, desde 1763, señalaba entre sus bienes “un colateral con dos lienzos”. Es posible que sean los mismos de un inventario de 1797: “el uno un Santo Cristo y el otro nuestra señora del Carmen”. Este último se trataba de un cuadro de ánimas con el patronazgo de dicha advocación mariana (APSCS, Expediente 1).

La historiografía reciente ha mostrado que la cultura material de la devoción no era un simple adorno, sino una forma de pensamiento teológico (Castañeda, 2023). El ritual barroco era un medio de regulación social. Las procesiones de las Ánimas, como las documentadas en Saltillo, seguían un orden jerárquico preciso; una “coreografía” social que enseñaba su lugar en el mundo. La procesión era la escenificación del orden cristiano (Taylor, 1999), en ella se condensaban obediencia, fe y pertenencia. Las cofradías, además, mantenían un conjunto de rituales internos asociados a la muerte de los hermanos, lo que consolidaba la fraternidad de vivos con los muertos.

Al participar en el entierro, cada cofrade aseguraba su acompañamiento futuro. Esta relación entre espacio y devoción resulta particularmente interesante en el contexto de Saltillo. Como ha mostrado Edrei Durón (2025), la religiosidad compartida entre españoles y tlaxcaltecas se materializó en los mismos objetos y ritos. Ambos grupos participaban en procesiones conjuntas, sostenían altares paralelos y celebraban festividades en honor a las Ánimas. La cofradía actuó como un puente cultural donde se negociaban las diferencias con el rito.

El culto de las Ánimas, por tanto, integraba el tiempo litúrgico, la economía material y la estructura social. En ese sentido, las cofradías encarnaban una teología de la mediación: la convicción de que las obras materiales podían aliviar las penas del alma en el purgatorio (Castillo, s.f.). En Saltillo, los libros de cuentas muestran cómo esta creencia se traducían en una administración rigurosa del rito, donde nada quedaba al azar, cada gasto era una oración contable.

Así, los rituales y los objetos adquiridos revelan la dimensión más tangible del barroco septentrional. Las cofradías de Ánimas del Purgatorio de Saltillo y San Esteban no fueron una abstracción piadosa, sino un cuerpo visible. Sus altares, sus lienzos y sus imágenes fueron el escenario donde los fieles representaron su idea del más allá. A través de ellos, el Purgatorio se volvió una experiencia concreta de la religiosidad. Todo lo anterior, hace comprensible la advertencia del abad Gordillo en la España de finales del siglo XVII:

Es muy sabido y antiguo uso de sentir [...] que tres cosas ha de tener un ciudadano en el lugar donde está avecindado: casa en que vivir [...]; sepultura en que enterrase [...]; cofradía con que honrarse, porque su entierro se haga con pompa funeral, acompañamiento y sentimiento de los vecinos de su pueblo, que

le encomienden a Dios y lleven su cuerpo a la sepultura, que éste es uno de los fines con que las cofradías se instituyeron; y conforme a ello tienen todas en sus reglas orden particular de cómo se debe hacer el acompañamiento de los cofrades difuntos, a cuyo cumplimiento están obligados (Rodríguez, 2004).

MUERTE, SALVACIÓN Y MEMORIA COLECTIVA

En el corazón de toda cofradía virreinal existía una certeza: morir bien era un acto colectivo. La salvación se lograba en comunidad. En torno a la muerte se articulaban los vínculos de solidaridad, los gestos de caridad y las jerarquías devocionales que daban sentido a la existencia cristiana. Las cofradías de Ánimas del Purgatorio nacieron para acompañar a los vivos hacia una buena muerte.

La idea de “bien morir” implicaba cumplir con los sacramentos, dejar pagadas las misas, redactar testamento y pertenecer a una corporación que garantizara el entierro y los sufragios (Castillo, 2011). La cofradía, en este sentido, era el espacio institucional de esa continuidad, el lugar donde se negociaba la frontera entre la vida y la eternidad. Los documentos de la Cofradía de las Ánimas del Purgatorio de Saltillo ofrecen un testimonio de esa religiosidad de la muerte.

El libro de cargo y data registra año tras año los gastos funerarios de los hermanos difuntos, las misas de aniversario y las donaciones destinadas a aliviar las penas del alma. Entre 1760 y 1800, por ejemplo, se registraron gastos por las 52 misas de ánimas cantadas todos los lunes y cinco pesos anuales del aniversario de ánimas, a lo que se sumaba el sueldo del sacristán, del cantor y del cura (APSCS, Expediente 1).

Las ceremonias cumplían una función doble: ritualizaban la extinción de la vida y aseguraban la salvación del alma en el más allá. En la teología del Purgatorio, los vivos, intercedidos por la Iglesia, tenían el poder de acelerar la purificación de los muertos a través de la oración, la limosna y la misa. Esa doctrina convirtió la relación entre vivos y difuntos en una red de obligaciones mutuas (Castillo, s.f.). La cofradía era el dispositivo institucional que organizaba el intercambio, garantizando que nadie muriera sin amparo y que cada alma tuviera quien le rezara.

Las constituciones de 1760 de San Esteban estipulaban que, en caso de fallecimiento de un cofrade, los demás estaban obligados a asistir al entierro con vela encendida y a acompañar al cuerpo hasta su sepultura (RPSEP, 1760). La imagen de la comunidad acompañando al difunto expresa la dimensión performativa de la caridad. No bastaba rezar, había que estar presente y participar en el rito de despedida, esta asistencia era obligación de todo cofrade (Pescador, 1990).

Sin embargo, las diferencias sociales se reflejaban en la forma del rito. Los cofrades más acaudalados pagaban misas cantadas y entierros dentro del templo; los más pobres recibían entierros sencillos y misas rezadas. Esa jerarquía ritual era también una jerarquía moral, donde la piedad se medía por la capacidad de gasto. Es por ello por lo que también las donaciones de objetos, imágenes y bienes en general eran también una forma de perpetuar la memoria. En 1762 el inventario de la cofradía de la parroquia registra "media casa y solar que donó a la cofradía Marcos Botello y su esposa" en el barrio de Guanajuato y, en 1788, don Ignacio del Bosque ordenó en su testamento que "pagándolo su entierro y dependencia todo el residuo de sus demás bienes se destine a beneficio de las benditas ánimas del purgatorio" (APSCS, Expediente 1).

En suma, las prácticas funerarias novohispanas también formaban parte de un sistema de control urbano y moral. Los entierros y las cofradías funcionaban como instrumentos de disciplina colectiva, regulaban el uso del espacio, ordenaban el calendario de fiestas y establecían un ritmo de oración que estructuraba la vida social. En Saltillo, este control se manifestaba en la periodicidad de los oficios, en la obligación de asistir a las misas de aniversario y en el seguimiento de los testamentos. Morir bien era, en última instancia, obedecer al orden sagrado.

En este marco, el culto a las Ánimas del Purgatorio actuaba como un lenguaje emocional compartido. El miedo al castigo eterno, la esperanza del perdón y la compasión por los muertos articulaban una espiritualidad profundamente afectiva (Castillo, s.f.). La cofradía canalizaba ese sentimiento a través de ritos comunitarios que transformaban el dolor en consuelo y esperanza. En la misa del Día de Difuntos y en los aniversarios, los cofrades se reunían frente al lienzo del Purgatorio, donde las almas eran representadas entre llamas, con ángeles, santos, Jesucristo y la Virgen como intermediarios (Durón, 2018).

El papel de las mujeres dentro de este sistema fue especialmente significativo. En ambas cofradías su presencia como cofradas fue constante, representando la mitad y, en ocasiones, aún más, del total de los cofrades. En San Esteban, entre 1760 y 1771, de los 200 cofrades, el 48% fueron mujeres y el 52 % hombres (RPSEP, 1760). Si bien los cargos principales recaían en hombres, muchas mujeres participaron activamente, encargadas del altar, donantes de objetos y bienes, promotoras de misas y como acreedoras de la cofradía.

En 1763, Ana María Montes de Oca pagó a la cofradía de ánimas de la parroquia 276 pesos y 2 ½ reales que debía por un préstamo de 553 pesos y 3 reales a la hacienda de San Lucas (APSCS, Expediente 1). Estos dineros dinamizaban a dicha cofradía. En 1797, reconocía que tenía prestado a diversos vecinos casi 7 000 pesos. Estos fondos eran piadosos.

El estudio de Marlen Edrei Durón Salazar (2018) ya había advertido la importancia de este fenómeno en la región: las cofradías funcionaron como instituciones de identidad y continuidad, donde la práctica del recuerdo se entrelazaba con la afirmación comunitaria. Su tesis destacó que el culto a las Ánimas del Purgatorio en Saltillo y San Esteban fue una estrategia cultural para conservar la cohesión en una frontera inestable.

La cofradía aseguraba el tránsito del alma y, al mismo tiempo, perpetuaba la estructura del mundo. Morir bien significaba confirmar la pertenencia a un orden, a una comunidad y a una historia compartida. En última instancia, las cofradías de Ánimas del Purgatorio de Saltillo y San Esteban no solo enseñaban a morir, sino que integraban a los individuos de una frontera, al orden monárquico. Así, en la religiosidad del septentrión, el Purgatorio fue una práctica social de orden.

El estudio de las cofradías no puede reducirse al registro de una devoción extinguida. Las cofradías fueron instituciones de larga duración, cuyas lógicas de sociabilidad, memoria y asistencia sobrevivieron, aunque transformadas, a la ruptura del orden virreinal. En el caso de Saltillo, los libros de cuentas y las actas de la Cofradía de las Benditas Ánimas del Purgatorio muestran que su actividad se prolongó hasta la primera mitad del siglo XIX. Esta persistencia revela que la cofradía fue un modo de organización del mundo católico que dejó huellas profundas en la cultura local y que sigue esperando trabajos que rescaten esta complejidad.

Desde su fundación en 1760, la Cofradía de las Ánimas del Purgatorio de San Esteban de la Nueva Tlaxcala, se había consolidado como el espacio donde se gestionaban la caridad, el culto y la memoria. Sin embargo, a partir de 1790 se observan señales de tensión, disminución de ingresos, falta de mayordomos y reclamos por la administración de los bienes. Esto sugiere un desgaste institucional, las reformas borbónicas habían impuesto mayores controles sobre las finanzas eclesiásticas, y muchas cofradías enfrentaron dificultades para sostener sus gastos, tema que ha analizado cuidadosamente David Carbajal (2022).

Este proceso coincidió con un cambio en la sensibilidad religiosa. Las prácticas barrocas de pompa y representación comenzaron a ser cuestionadas por un discurso moralizante que privilegiaba la austeridad y la ilustración de la fe. En Saltillo, esto significó limitar las procesiones y concentrar los recursos en las misas necesarias. Sin embargo, el culto a las Ánimas del Purgatorio resistió. Aquí sobresale el hecho de que la cofradía de la parroquia haya tenido mejores finanzas y capacidad de adaptarse que la cofradía de indígenas tlaxcaltecas, cuya comunidad se vio mermada en sus privilegios a fines del siglo XVIII (Barranco, 2023).

A pesar de todo, la transición al liberalismo no eliminó el espíritu cofrade, sino que lo reconfiguró. En el siglo XIX, las cofradías fueron progresivamente suprimidas o transformadas en “asociaciones piadosas” bajo la vigilancia del clero parroquial. En el norte novohispano, las cofradías cumplieron una función de cohesión social y memoria colectiva. En comunidades fronterizas como San Esteban y Saltillo, el culto a las Ánimas se convirtió en una forma de identidad compartida, un símbolo de pertenencia frente a la inestabilidad del entorno.

Edrei Durón (2025) lo demostró con claridad; la práctica cofrade fue una estrategia de integración entre tlaxcaltecas y españoles, donde las diferencias étnicas se negociaban mediante la devoción. Esa interpretación se confirma en los documentos del archivo, donde las listas incluyen nombres de ambos grupos, unidos por la misma obligación mortuoria. La lectura de los libros de cargo y data de Saltillo muestra que las cofradías operaban como microinstituciones de gobierno moral, organizaban la limosna, regulaban la conducta y moldeaban la memoria.

En términos historiográficos, los estudios sobre cofradías en el norte de México constituyen hoy un campo en expansión. Actualmente se ha avanzado hacia una lectura más compleja del fenómeno, ya no solo como devoción, sino como sistema social de representación y poder. En esta línea, la documentación de Saltillo aporta un caso paradigmático, pues permite observar la interacción entre la religiosidad popular y los procesos de territorialización eclesiástica en una frontera del Imperio. La cofradía fue un instrumento de cristianización, pero también de identidad y cohesión local, un espacio donde el catolicismo se adaptó a las condiciones regionales.

El presente trabajo ha buscado demostrar que las cofradías de Ánimas del Purgatorio de Saltillo y San Esteban no fueron entidades aisladas, sino parte de una red más amplia de economías morales de la salvación. A través de los libros de cuentas, las actas y las constituciones, es posible reconstruir un universo donde la fe se administraba, se contabilizaba y se hacía visible. El legado de las cofradías, por tanto, trasciende el ámbito de la historia religiosa. Sus prácticas, rituales, contables, emocionales, conformaron una cultura de la solidaridad que aún atraviesa las tradiciones del norte de México.

CONCLUSIONES

El estudio de las cofradías de Ánimas del Purgatorio en Saltillo y San Esteban de la Nueva Tlaxcala revela la profundidad con que la religiosidad popular estructuró la vida social novohispana. A través del análisis de fuentes de archivo, se observa que estas asociaciones fueron más que agrupaciones piadosas, sino que funcionaron como instituciones de cohesión, asistencia y memoria, donde la fe y la economía se entrelazaban en una misma lógica moral. Su organización interna, su contabilidad rigurosa y su red de ayuda mutua muestran una comunidad que administraba la salvación con la misma disciplina con que administraba sus recursos.

Las cofradías fueron también escenarios de negociación y de poder, en los que se reproducían jerarquías sociales, pero se generaban espacios de solidaridad y pertenencia. A través del culto a las Ánimas del Purgatorio, los fieles transformaron el miedo a la muerte en práctica de caridad y en afirmación colectiva. En su altar, en sus libros de cuentas y en sus procesiones, el Purgatorio se hizo visible. En las devociones contemporáneas, en los rezos

domésticos por las ánimas y en las conmemoraciones de noviembre resuenan las mismas estructuras de reciprocidad espiritual. Las cofradías de Saltillo fueron, en suma, laboratorios de sociabilidad cristiana que engarzaron lo local y lo monárquico. Su estudio permite entender cómo el catolicismo barroco organizó no solo las creencias, sino la sensibilidad y el orden moral de todo un territorio.

REFERENCIAS

- Barranco, A. Q. (2023). La pérdida de privilegios administrativos tlaxcaltecas en el siglo XVIII: El caso de San Esteban de la Nueva Tlaxcala (1786-1794) [Tesis de licenciatura inédita]. México: UNAM.
- Betchloff, D. (1996). *Las cofradías en Michoacán durante la época de la colonia. La religión y su relación política y económica en una sociedad intercultural*. Zamora Michoacán: El Colegio de Michoacán, El Colegio Mexiquense.
- Carbajal, D. (2022). *Cuerpos profanos o fondos sagrados: La reforma de cofradías en Nueva España y Sevilla durante el Siglo de las Luces*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Castañeda, C. M. (2023). El valor utilitario de la espiritualidad. Las cuentas de la cofradía de Nuestra Señora del Rosario de Cartago, siglo XVIII. En I. Jiménez y M. Muñoz (coords). *Cofrades y devotos. Estudios institucionales, sociales y económicos entre Andalucía y América (siglos XVI-XVIII)* (pp. 163-184). Santiago de Chile: Ariadna Ediciones.
- Castillo, J. G. (2011). *Actitudes y prácticas para el bien morir: Xalapa 1700-1750*. *Estudios Jaliscienses*, 85: 7-24.
- Castillo, J. G. (2015). *La muerte del prebendado: capitulares de la Catedral de México y el ideal del buen morir en el siglo XVI*. *Vita Brevis*, 4: 23-45.
- Castillo, J. G. (s.f.). *El purgatorio y las obras para la salvación*. Manuscrito inédito.
- Durón, M. E. (2018). *El culto a las ánimas del purgatorio en Saltillo y San Esteban a través de sus cofradías, siglos XVIII*, [Tesis de licenciatura inédita]. Saltillo, Coahuila: Universidad Autónoma de Coahuila.
- Durón, M. E. (2025). *Religión, sociedad e identidad a través de las cofradías de Saltillo y San Esteban (siglos XVII y XVIII)* [Artículo académico para obtener el grado de maestra en Historia inédito]. México: UNAM.
- Gutiérrez, J. M. y Carbajal, D. (2024). Cofradías, vida parroquial y agencia de feligreses indios: el caso de San Gaspar, siglos XVI–XVII. *Archivo Ibero-Americano*, 84 (298): 233-262.



Familysearch.org, *Registros parroquiales de Saltillo, Coahuila, 1684-1906*.

Lavrin, A. (1998). Cofradías novohispanas: economías material y espiritual. En P. Martínez, G. Wobeser y J. Muñoz (coords.), *Cofradías, capellanías y obras pías en la América colonial* (pp. 49-64). México: UNAM, Instituto de Investigaciones Históricas, Facultad de Filosofía y Letras.

Pescador, J. J. (1990). Devoción y crisis demográfica: La Cofradía de San Ygnacio de Loyola, 1761–1821. *Historia Mexicana*, 29 (3): 767-801.

Rodríguez, M. (2001). *Usos y costumbres funerarias en la Nueva España*. Zamora, Michoacán: El Colegio de Michoacán, El Colegio Mexiquense.

Rodríguez, J. (2004). Bien a los muertos y utilidad para los vivos: El auxilio funerario en las cofradías de la modernidad. En J. Hernández (Coord.), *Enfermedad y muerte en América y Andalucía: siglos XVI-XX* (pp. 445-470). Sevilla, Escuela de Estudios Hispano-Americanos, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Rubial, A. (2015). *La santidad controvertida: hagiografía y conciencia criolla en la Nueva España*. México: UNAM, Fondo de Cultura Económica.

Taylor, W. B. (1999). *Ministros de lo sagrado: sacerdotes y feligreses en el México del siglo XVIII*. Zamora, Michoacán: El Colegio de Michoacán, Secretaría de Gobernación, El Colegio de México.

ESTUDIO MULTIVARIABLE DE LAS DIMENSIONES DE UN INHIBIDOR DE TURBULENCIA CON CAVIDAD INTERNA RECTANGULAR EN UN PARALELEPÍPEDO REGULAR

MULTIVARIABLE STUDY OF THE DIMENSIONS OF A TURBULENCE INHIBITOR WITH A RECTANGULAR INTERNAL CAVITY IN A REGULAR PARALLELEPIPED

CERRITOS ARRIAGA, María de Lourdes¹

RODRÍGUEZ ÁVILA, Jafeth¹

MORALES DÁVILA, Rodolfo²

OLVERA ROMERO, Gerardo Daniel¹

MUÑIZ VALDÉS, Carlos Rodrigo¹

GÓMEZ CASAS, Josué¹

RESUMEN

El distribuidor desempeña un papel decisivo en la colada continua porque condiciona la hidrodinámica previa al molde y, con ello, la limpieza del acero. Dentro del distribuidor, el inhibidor de turbulencia actúa como el modificador de flujo más influyente ya que altera el patrón de circulación y favorece que las inclusiones floten hacia la escoria en lugar de ser arrastradas a la salida. Reducir ese arrastre es crítico para la calidad y para los costos de producción y retrabajo. En este estudio se desarrolla una correlación estadística por mínimos cuadrados que sirve como guía de diseño para inhibidores con cavidad interna rectangular. La atención se centra en dos variables geométricas altura y longitud y su efecto sobre la masa de partículas colectada a la salida como medida inversa de eficiencia. Los ensayos en modelo físico muestran tendencias consistentes y el ajuste por mínimos cuadrados reproduce con buena proximidad los valores observados, lo que respalda la validez del modelo. En el rango estudiado, cuando el inhibidor es más alto y más corto, se arrastran menos partículas y el acero queda más limpio. Esta relación ofrece un criterio simple y útil para afinar diseños en planta y orientar futuras evaluaciones con mayor resolución experimental y condiciones operativas diversas.

Palabras clave: distribuidor; colada continua; inhibidor de turbulencia; inclusiones no metálicas; modelo físico a escala; regresión por mínimos cuadrados.

1. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Coahuila, Arteaga, Coahuila, México.
2. Escuela Superior de Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México. México.

Correspondencia
jafethrodriguez@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8873-5882>

Fecha de recepción
6 de octubre de 2025.

Fecha de aceptación
5 de noviembre de 2025.

ABSTRACT

The tundish plays a decisive role in continuous casting because it governs pre-mold hydrodynamics and, consequently, steel cleanliness. Within the tundish, the turbulence inhibitor is the most influential flow-control device, as it modifies the circulation pattern and promotes flotation of nonmetallic inclusions toward the slag instead of their entrainment to the outlet. Reducing such entrainment is critical for quality as well as production and rework costs. This study develops a least-squares statistical correlation to guide the design of inhibitors with a rectangular internal cavity. The analysis focuses on two geometric variables, height and length, and their effect on the particle mass collected at the outlet, taken as an inverse measure of inhibitor efficiency. Physical model tests show consistent trends, and the least-squares fit reproduces the observed values with good proximity, supporting the validity of the model. Within the studied range, a taller and shorter inhibitor leads to less particle entrainment and cleaner steel. This relationship provides a simple and useful criterion to refine plant designs and to direct future evaluations with higher experimental resolution under diverse operating conditions.

Keywords: *tundish; continuous casting; turbulence inhibitor; non-metallic inclusions; physical water model; least-squares regression.*

I. INTRODUCCIÓN

La producción de acero mediante colada continua comprende, de forma general, la fusión del arrabio y/o chatarra (frecuentemente en horno de arco eléctrico), el afino secundario en horno cuchara, la distribución hacia las líneas de colada, la solidificación en el molde, el enfriamiento en mesa de rodillos y el corte del producto. En este tren de operaciones, el distribuidor es el último reactor metalúrgico antes del molde, el cual regula el régimen de flujo para sostener condiciones cuasi-estacionarias, homogeneiza temperatura y composición, limita la reoxidación mediante coberturas y, críticamente, favorece la remoción por flotación de inclusiones no metálicas hacia la escoria superficial. La efectividad de estas funciones depende del campo de flujo interno y de la distribución de tiempos de residencia (RTD, por sus siglas en inglés de Residence Time Distribution), por ello, la hidrodinámica del distribuidor influye directamente en la limpieza del acero y en la uniformidad térmica del baño (Fang y col., 2020; Li y col., 2023; Zhang y col., 2000).



Para acondicionar el flujo se emplean dispositivos de control (FCDs, por sus siglas en inglés de *Flow-Control Devices*) como inhibidores de turbulencia, presas/diques, baffles, cámaras de impacto y filtros, solos o combinados. La evidencia consolidada de modelos físicos en agua (apoyados en similitud de Froude y caracterización mediante curvas RTD) y de simulación CFD acoplada a transferencia de calor y transporte de partículas/inclusiones muestra que estos FCDs reducen cortocircuitos, incrementan la fracción de flujo tipo pistón, estabilizan gradientes térmicos y elevan la tasa de captura/flotación de inclusiones, tanto en distribuidores monohilo como multihilo (Fang y col., 2020; Sheng y Chen, 2021; Yao y col., 2020).

El desempeño de un FCD, sin embargo, no es universal. Depende de la geometría del distribuidor (volumen efectivo, cámaras, número/posición de salidas), del régimen de colada (caudal/velocidad, supercalentamiento), de las condiciones térmicas y, de forma crítica, de la morfología y dimensiones del propio dispositivo (p. ej., altura y longitud de un inhibidor, y detalles de borde (Li y col., 2023; Mabentsela y col., 2017; Morales y col., 2000; Quan y col., 2023; Tie y col., 2022; Yao y col., 2020). Así, un diseño que ofrece resultados favorables en cierto distribuidor puede resultar subóptimo en otro. De ahí que la práctica contemporánea recomiende diseño y validación específicos (combinando CFD y modelos a escala) e idealmente pruebas en planta, para cuantificar mejoras en tiempos de residencia efectivos, uniformidad térmica, fracciones de volumen muerto, transiciones entre aceros, y conteo de inclusiones (Fang y col., 2020; Li y col., 2023; Mabentsela y col., 2017; Quan y col., 2023).

En ese contexto y en línea con la experiencia industrial no es posible estandarizar indiscriminadamente los diseños y aplicaciones de dispositivos de control de flujo (FCDs, por sus siglas en inglés de *flow control devices*) para distintas condiciones de operación, ya que variaciones en la velocidad y el caudal de colada, el supercalentamiento, la geometría del distribuidor, el número de salidas, la temperatura, la composición del acero y la forma y dimensiones del inhibidor de turbulencia (TI, por sus siglas en inglés de *turbulence inhibitor*) alteran de manera sustancial el régimen hidráulico, modifican las proporciones de flujo tipo pistón y de mezcla y generan zonas muertas y en consecuencia afectan la eficiencia metalúrgica (Mabentsela y col., 2017; Morales y col., 2000; Quan y col., 2023; Tie y col., 2022; Yao y col., 2020; Yue y col., 2009; Zhang y col., 2000). Por lo tanto, es pertinente estudiar de manera multivariable la influencia de las dimensiones internas de

los inhibidores de turbulencia de sección rectangular, con énfasis en la altura y la longitud, sobre la flotación y el arrastre de inclusiones. Este enfoque se alinea con trabajos que correlacionan parámetros geométricos del FCD con métricas hidráulicas (RTD, fracciones pistón/mezcla, volumen muerto) y resultados metalúrgicos (captura de inclusiones), proponiendo criterios de diseño transferibles dentro de rangos operativos bien definidos. La integración de CFD, modelos físicos y, cuando es viable, validación en planta permite cerrar el ciclo diseño-optimización-verificación, y fundamenta decisiones sobre la morfología del TI (p. ej., relación altura/longitud, detalles de borde y ubicación relativa) para mejorar la calidad del producto final (Li y col., 2023; Morales y col., 2000; Quan y col., 2023; Tie y col., 2).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó un modelo de distribuidor transparente en acrílico de 12 mm de espesor, a escala un tercio del prototipo. La alimentación de agua fue de 13 L/min. El agua representó al acero líquido por similitud cinemática con base en criterios de Froude. El trazador se preparó con polvo dispersado en alcohol isopropílico. Se inyectó en la entrada y el polvo se desplazó a lo largo del distribuidor siguiendo el campo de velocidades y las fuerzas hidrodinámicas, dirigiéndose a la salida o ascendiendo a la superficie. Debido a su menor densidad respecto del agua se observó flotación, análoga al comportamiento de inclusiones no metálicas cuando su densidad efectiva es menor que la del baño y migran hacia la escoria.

El ensayo se realizó en régimen estacionario. La masa de polvo colectada a la salida se usó como medida proporcional de la eficiencia del inhibidor de turbulencia. Menor masa colectada indica mayor flotación y menor arrastre hacia el producto. La Figura 2 muestra el arreglo experimental con entrada, salida, el inhibidor C3, el punto de inyección y la criba de recolección. Se colocó una criba tamaño 5000 después de la salida para retener el polvo, que luego se secó y se pesó.

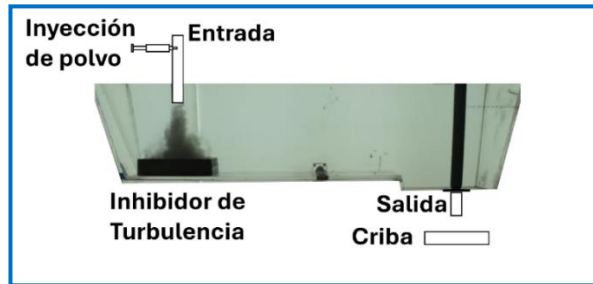


Figura 2. El experimento de polvo.

La experimentación descrita se aplicó a cada variante de inhibidor de turbulencia en un distribuidor de una sola salida. Se evaluaron inhibidores con cavidad interna de sección rectangular. Para cada uno se midió la masa de polvo colectada a la salida. La Figura 3 presenta los modelos C3, C6, C7 y C8 en los paneles a, b, c y d.

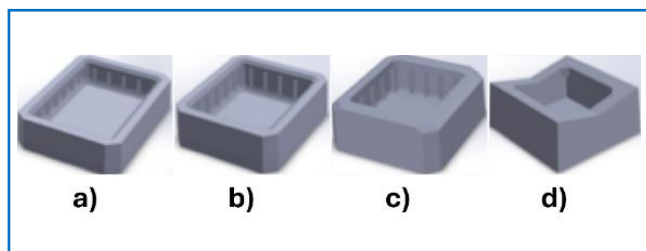


Figura 3 Inhibidores de turbulencia a) C3, b) C6, c) C7 y d) C8.

El tamaño de partícula del polvo se caracterizó mediante cribas con mallas 70, 100 y 140. La Tabla 1 resume la distribución granulométrica. Se partió de una muestra total nominal de 60 g. Se registró una pérdida de 1.4 g durante la medición. La masa efectivamente cuantificada fue de 58.6 g. Los porcentajes se calcularon con base en 58.6 g.

Tabla 1. Tamaño de partículas de polvo.

Masa (g)	Porcentaje en masa	Tamaño de malla	Tamaño de grano (mm)
1	1.70 %	<140	<0.105
34.2	73.70 %	140-100	0.105-0.149
22.1	37.70 %	100-70	0.149-0.210
1.3	2.20 %	>70	>0.210

Las dimensiones internas de los inhibidores longitud, ancho y alto se muestran en la Tabla 2. La cavidad interna es de contorno rectangular y las paredes incluyen bordes destinados a atenuar la turbulencia. En el caso del modelo C8 la altura interna es irregular y se trabajó con una altura media equivalente de 71 mm. La Figura 4 presenta la comparación gráfica de estas dimensiones.

Tabla 2. Dimensión interna de los inhibidores rectangulares.

Inhibidor	C3	C6	C7	C8
Longitud (mm)	207	182	157	152
Ancho (mm)	150	150	141	139
Alto (mm)	53	69	77	71 (Media)

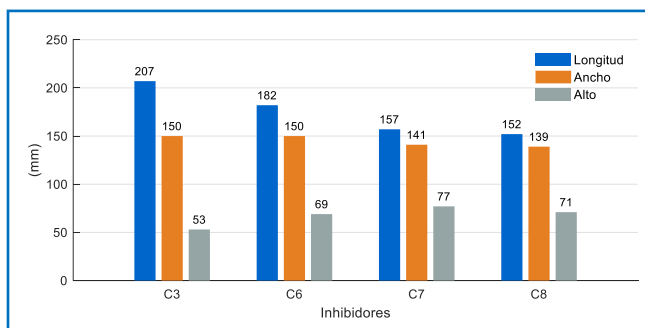


Figura 4. Dimensiones de los inhibidores con sección rectangular

La formulación del problema se establece con un modelo lineal multivariable estimado mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO por sus siglas en inglés de *ordinary least squares*) (Barbur y col., 1994; Draper y Smith, 2014). En la ecuación 1 se expresa el vínculo entre la respuesta experimental m , la matriz de diseño X , el vector de parámetros beta y el término de error epsilon. La ecuación 2 expande dicha relación por observación y hace explícita la estructura de X con una columna de unos y con las variables geométricas X_1 , X_2 y X_3 que representan la longitud el ancho y la altura internas del inhibidor. Esta representación distingue la contribución sistemática asociada a X y beta de la variabilidad no explicada contenida en epsilon.

$$m = X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & X_{31} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & X_{32} \\ 1 & X_{13} & X_{23} & X_{33} \\ 1 & X_{14} & X_{24} & X_{34} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

La estimación por MCO se define mediante la minimización de la suma de cuadrados de los residuales, tal como se establece en la ecuación 3, lo que conduce a trabajar con el producto cuadrático ε^T por ε . Con base en el modelo de la ecuación 1 se introduce el residual en la ecuación 4 y su traspuesta en la ecuación 5. La ecuación 6 reescribe el producto cuadrático como un producto de binomios y la ecuación 7 aplica propiedades de la traspuesta para reorganizar los términos. La ecuación 8 desarrolla el binomio y separa términos puros y cruzados, la ecuación 9 reconoce la equivalencia de los cruzados y la ecuación 10 concentra el criterio de ajuste en una forma cuadrática en beta que resultará instrumental para derivar el estimador (Crocker y Seber, 1980; Wetherill y Seber, 1977).

$$\min \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \min(\varepsilon^T \cdot \varepsilon) \quad (3)$$

$$\varepsilon = m - X\beta \quad (4)$$

$$\varepsilon^T = (m - X\beta)^T \quad (5)$$

$$\varepsilon^T \cdot \varepsilon = (m - X\beta)^T (m - X\beta) \quad (6)$$

$$\varepsilon^T \cdot \varepsilon = (m^T - X^T \beta^T)(m - X\beta) \quad (7)$$

$$\varepsilon^T \cdot \varepsilon = m^T m - m^T X\beta - mX^T \beta^T + X^T \beta^T X\beta \quad (8)$$

$$m^T X\beta = mX^T \beta^T \quad (9)$$

$$\varepsilon^T \cdot \varepsilon = m^T m - 2m^T X\beta + X^T \beta^T X\beta \quad (10)$$

A partir de la forma cuadrática anterior se define en la ecuación 11 la función objetivo $L(\beta)$. La ecuación 12 calcula su derivada con respecto a beta y la iguala a cero para imponer la condición de optimalidad, la ecuación 13 simplifica esta condición y conduce a las ecuaciones normales. La ecuación 14 proporciona la solución para β^T y la ecuación 15 presenta la forma equivalente más utilizada del estimador en términos de X^T por X y X^T por m . La ecuación 16 expresa el modelo en forma escalar con intercepto β_1 y pendientes β_2 , β_3 y β_4 asociadas a X_1 , X_2 y X_3 y la ecuación 17 define el residual como diferencia entre la observación y la predicción (Barnett y col., 1975; Gunst y col., 1996; Porzio, 2013).

$$L(\beta) = \varepsilon^T \cdot \varepsilon = m^T m - 2m^T X \beta + X^T \beta^T X \beta \quad (11)$$

$$\frac{dL}{d\beta} = 0 = 0 - 2m^T X + 2X^T \beta^T X \quad (12)$$

$$0 = 0 - 2m^T X + 2X^T \beta^T X \quad (13)$$

$$(X^T X)^{-1}(m^T X) = \beta^T \quad (14)$$

$$\beta = (X^T X)^{-1}(X^T m) \quad (15)$$

$$m = \beta_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3 X_2 + \beta_4 X_3 + \varepsilon \quad (16)$$

$$\varepsilon = m - \hat{m} \quad (17)$$

La ecuación 18 resume la correlación calibrada en este trabajo y habilita la estimación de la masa colectada en función de la longitud, el ancho y la altura internas del inhibidor, proporcionando coeficientes numéricos que cuantifican la contribución marginal de cada dimensión sobre la respuesta predicha (Porzio, 2013).

$$\hat{m} = 28.3188 + 0.3056, X_1 + 0.3711, X_2 + 0.4505, X_3 \quad (18)$$

El polinomio característico resultado de la aplicación de la metodología de mínimos cuadrados se compara con los datos experimentales obtenidos en las pruebas de laboratorio.

III. RESULTADOS

Tabla 3. Polvo medido a la salida del Inhibidor.

Inhibidor	Cantidad de polvo promedio (mg)
C3	3.2
C6	2.76
C7	1.65
C8	1.13

La Figura 5 presenta dos vistas complementarias. En la parte "a" se relaciona la masa promedio de polvo con la altura del inhibidor para los casos C3 C6 y C7 en milímetros. Se observa una tendencia monótona decreciente, lo que implica que al aumentar la altura interna del inhibidor disminuye la masa arrastrada y por tanto se favorece la flotación hacia la superficie. En la parte "b" se representa la masa promedio en función de la longitud del inhibidor. Se aprecia que longitudes menores se asocian con una reducción adicional de la masa de polvo a la salida, lo que también es consistente con una disipación de energía más efectiva y con un patrón de circulación más propicio para la remoción de partículas

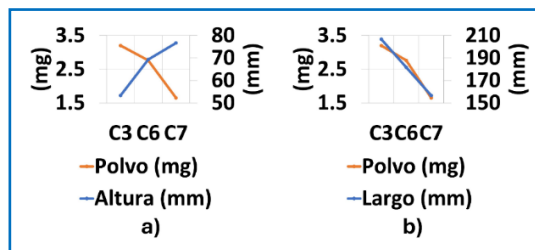


Figura 5. Cantidad de masa del polvo en promedio de cada inhibidor a la salida del distribuidor con la a) altura y el b) largo del inhibidor.

Con el fin de integrar ambas escalas geométricas se analizó la fracción longitud entre altura. La Figura 6 representa la masa promedio de polvo en

función de esta fracción. Cuando la altura aumenta y la longitud se mantiene constante la fracción disminuye y la masa colectada se reduce. Cuando la longitud aumenta y la altura se mantiene constante la fracción crece y la masa colectada se incrementa. En consecuencia, fracciones menores se asocian con mayor eficiencia en la flotación de inclusiones, lo que refuerza de manera conjunta las observaciones de la Figura 5.

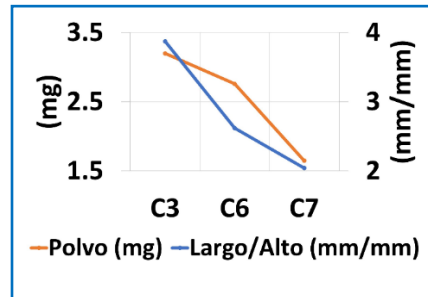


Figura 6. Cantidad de masa del polvo en promedio de cada inhibidor a la salida del distribuidor y la fracción (Longitud/Altura) del inhibidor.

La relación entre la masa colectada y las dimensiones internas se cuantificó mediante una regresión lineal multivariable. Se empleó como variable respuesta la masa a la salida y como variables explicativas la longitud X_1 el ancho X_2 y la altura X_3 en milímetros, incluyendo para el caso C8 su altura promedio. El ajuste proporcionó la correlación reportada en la ecuación (18). Con esta correlación se estimaron valores para cada inhibidor y se compararon con los promedios experimentales. La Tabla 4 reúne los resultados del estimado, el valor experimental promedio, la desviación estándar intragrupo calculada a partir de las tres réplicas, el rango de dispersión en miligramos y el error medio definido como estimado menos experimental.

Tabla 4 Resumen del análisis multivariable.

Parámetro	C3	C6	C7	C8
Estimado (mg)	3.199717	2.767717	1.651824	1.090211
Experimental promedio (mg)	3.2	2.76	1.65	1.13
Desviación estándar	0.346	0.057	0.191	0.152
Rango	0.6	0.1	0.4	0.3
Error medio para cada inhibidor	0.000283	-0.007717	-0.001824	0.039789

El desempeño del modelo se evaluó mediante el coeficiente de determinación y el análisis de varianza (ANOVA). Se obtuvo un R^2 de 0.9561 y un R^2 ajustado de 0.9396, lo que indica que la correlación explica más del 95% de la variación observada en la masa colectada. El RMSE calculado fue de 0.216 mg, lo que confirma la proximidad entre los valores estimados y experimentales.

La Tabla 5 resume los resultados del ANOVA de la regresión multivariable. El valor F calculado (58.05) es considerablemente mayor al crítico para un nivel de confianza del 95 %, y el p-valor = 8.99×10^{-6} confirma la significancia estadística del modelo dentro del dominio evaluado.

Tabla 5. ANOVA del modelo de regresión multivariable.

Fuente	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	8.1266	3	2.7089	58.0476	8.996×10^{-6}
Residual	0.3733	8	0.0467	—	—
Total	8.5	11	—	—	—

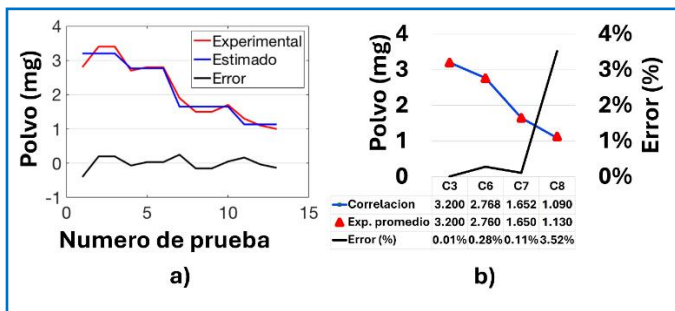


Figura 7. Valores de la regresión multivariable, experimental, estimado y el error a) De todas las muestras y b) promedio por inhibidor.

Para explorar la sensibilidad dentro de un espacio geométrico acotado se fijó el ancho en 150 mm consistente con la variación limitada de este parámetro en los prototipos evaluados, y se representó la superficie de respuesta en un gráfico tridimensional. La Figura 8 muestra la estimación de la masa colectada según combinaciones de altura entre 55 y 80 mm y de longitud entre 160 y

200 mm. Los puntos que corresponden a los promedios de C3 y C6 caen sobre la superficie estimada y son consistentes con la tendencia ya descrita. El resto del plano delimita una región factible de diseño donde la masa se reduce con incremento de altura y con reducción de longitud, siempre que se mantenga el ancho en ciento cincuenta milímetros.

En conjunto, los resultados indican que el inhibidor C8 es el que presenta menor masa de polvo a la salida y por ello la mayor eficiencia en términos de flotación de inclusiones. Esta ventaja se explica por su altura efectiva más elevada y por su longitud relativamente menor en comparación con los otros casos, aun cuando su altura interna sea no uniforme y se represente mediante un valor medio para el análisis comparativo.

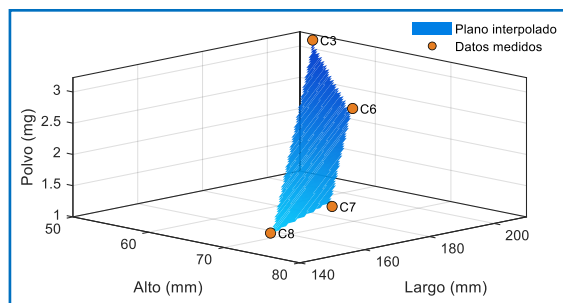


Figura 8. Gráfico tridimensional de la estimación con la correlación dependiendo de la altura del inhibidor.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados muestran una relación coherente entre la geometría interna del inhibidor y la masa de polvo arrastrada a la salida del distribuidor. Al aumentar la altura interna se reduce de forma consistente la masa colectada y al disminuir la longitud se observa una reducción adicional. Esta tendencia se refleja en la correlación multivariable ajustada, donde los coeficientes indican una influencia marginal ordenada por altura seguida de ancho y finalmente longitud. En la ecuación 18 los coeficientes para X_1 , X_2 y X_3 son 0.3056 0.3711 y 0.4505 respectivamente, por lo que la altura presenta el efecto más pronunciado en el intervalo estudiado.

El análisis de la fracción longitud entre altura aporta un criterio geométrico simple que integra ambas dimensiones y que resulta consistente con el patrón observado. Fracciones pequeñas se asocian con mayor flotación y menor

arrastre, lo que sugiere que configuraciones más altas y menos largas favorecen la disipación de energía en la zona de impacto y la permanencia de partículas en vecindad de la superficie con mayor oportunidad de captura por la escoria.

La comparación entre estimados y promedios experimentales evidencia errores medios cercanos a cero y desviaciones estándar moderadas, con una variabilidad entre las réplicas del caso C3 más elevada. En conjunto, la evidencia respalda el uso de la correlación como herramienta de apoyo al diseño dentro de los rangos explorados. Debe considerarse, no obstante, que el ancho se fijó en 150 mm para el análisis de sensibilidad, que el C8 posee altura no uniforme representada por un valor medio y que se emplearon tres réplicas por caso. Estos aspectos acotan el dominio de validez y señalan líneas de trabajo futuro orientadas a explorar no linealidades, a incrementar el tamaño muestral y a evaluar explícitamente diseños con altura variable.

V. CONCLUSIONES

La correlación multivariable reproduce con buena proximidad los promedios experimentales y captura la tendencia principal del fenómeno. Dentro de los rangos evaluados la masa de polvo a la salida disminuye cuando aumenta la altura interna del inhibidor y cuando disminuye su longitud

El orden de influencia marginal indicado por la ecuación 18 es altura seguida de ancho y finalmente longitud. Esta jerarquía es congruente con un mecanismo de disipación de energía más efectivo y con una reducción de trayectorias de cortocircuito, lo que incrementa el tiempo de residencia útil cercano a la superficie y favorece la flotación de partículas.

El diseño C8 presenta la menor masa de polvo colectada y por ende la mayor eficiencia hidrodinámica entre las variantes evaluadas. Su desempeño es compatible con una altura efectiva mayor y con una longitud menor, aun cuando su altura sea no uniforme y se represente mediante un valor promedio para fines comparativos

Los resultados sugieren una guía de diseño para inhibidores con cavidad interna rectangular. Incrementar la altura efectiva y reducir la longitud dentro de intervalos similares a los aquí estudiados favorece la remoción por flotación

y reduce el arrastre hacia el producto. Estas conclusiones deben aplicarse respetando el dominio de validez del estudio y considerando que el ancho se mantuvo cercano a ciento cincuenta milímetros

Se recomienda como trabajo futuro identificar un punto óptimo de altura y longitud dentro de la región factible, verificar posibles efectos no lineales mediante diseños experimentales con mayor resolución y complementar con mediciones hidrodinámicas que incluyan distribución de tiempos de residencia y transporte de partículas para afinar criterios de diseño transferibles a condiciones industriales variadas.

REFERENCIAS

- Barbur, V. A., Montgomery, D. C., & Peck, E. A. (1994). *Introduction to Linear Regression Analysis*. *The Statistician*, 43(2): 120–123. <https://doi.org/10.2307/2348362>
- Barnett, V., Neter, J., & Wasserman, W. (1975). *Applied Linear Statistical Models*. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 138(2): 230–234. <https://doi.org/10.2307/2984653>
- Crocker, D. C., & Seber, G. A. F. (1980). *Linear Regression Analysis*. *Technometrics*, 22(1): 130–132. <https://doi.org/10.2307/1268395>
- Draper, N. R., & Smith, H. (2014). *Applied Regression Analysis*. Wiley-Interscience, 3rd ed.: 85–90. <https://doi.org/10.1002/9781118625590>
- Fang, Q., Zhang, H., Luo, R., Liu, C., Wang, Y., & Ni, H. (2020). Optimization of flow, heat transfer and inclusion removal behaviors in an odd multistrand bloom casting tundish. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(1): 120–134. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.064>
- Gunst, R. F., Myers, R. H., & Montgomery, D. C. (1996). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. *Technometrics*, 38(3): 305–310. <https://doi.org/10.2307/1270613>
- Li, Q., Qin, B., Zhang, J., Dong, H., Li, M., Tao, B., Mao, X., & Liu, Q. (2023). Design improvement of four-strand continuous-casting tundish using physical and numerical simulation. *Materials*, 16(2): 849–861. <https://doi.org/10.3390/ma16020849>
- Mabentsela, A., Akdogan, G., & Bradshaw, S. (2017). Numerical and physical modelling of tundish slag entrainment in the steelmaking process. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 117(5): 445–455. <https://doi.org/10.17159/24111-9717/2017/v117n5a9>

- Morales, R. D., De Barreto, J. J., López-Ramírez, S., Palafox-Ramos, J., & Zacharias, D. (2000). Melt flow control in a multistrand tundish using a turbulence inhibitor. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 31(6): 1385–1393. <https://doi.org/10.1007/s11663-000-0035-x>
- Porzio, G. C. (2013). Regression analysis by example. *Journal of Applied Statistics*, 40(12): 2659–2661. <https://doi.org/10.1080/02664763.2013.817041>
- Quan, Q., Zhang, Z. X., Qu, T. P., Li, X. L., Tian, J., & Wang, D. Y. (2023). Physical and numerical investigation on fluid flow and inclusion removal behavior in a single-strand tundish. *Journal of Iron and Steel Research International*, 30(6): 1167–1181. <https://doi.org/10.1007/s42243-022-00884-3>
- Sheng, D. Y., & Chen, D. (2021). Comparison of fluid flow and temperature distribution in a single-strand tundish with different flow control devices. *Metals*, 11(5): 746–757. <https://doi.org/10.3390/met11050796>
- Tie, Z., Tang, H., Wang, K., Miao, H., Cai, S., Xian, F., & Zhang, J. (2022). Effect of flow field optimization of an asymmetric multi-strand tundish on the quality consistency of cracking con-rod steel. *Materials*, 15(10): 3698–3709. <https://doi.org/10.3390/ma15103698>
- Wetherill, G. B., & Seber, G. A. F. (1977). *Linear Regression Analysis*. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 140(4): 546–549. <https://doi.org/10.2307/2345290>
- Yao, C., Wang, M., Zheng, R., Pan, M., Rao, J., & Bao, Y. (2020). Effect of turbulence inhibitors on molten steel flow in 66-ton t-type tundish with large impact area. *Metals*, 10(9): 1111–1123. <https://doi.org/10.3390/met10091111>
- Yue, Q., Zou, Z. S., Hou, Q. F., & Chen, Z. (2009). Water modeling of swirling flow tundish for steel continuous casting. *Journal of Iron and Steel Research International*, 16(5): 1–6. [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(10\)60004-0](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(10)60004-0)
- Zhang, L., Taniguchi, S., & Cai, K. (2000). Fluid flow and inclusion removal in continuous casting tundish. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 31(2): 253–266. <https://doi.org/10.1007/s11663-000-0044-9>

DERRAME PLEURAL EN HOSPITAL DE SEGUNDO NIVEL ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO

PLEURAL EFFUSION IN A SECONDARY CARE HOSPITAL EPIDEMIOLOGICAL STUDY

GARCÍA CABELLO, Ricardo

HERNÁNDEZ VÁZQUEZ, Daniel
Gustavo

ROBLES MARTÍNEZ, Johny Emmanuel

MARTÍNEZ REYNA, Luis Carlos

RESUMEN

El derrame pleural es una condición frecuente, caracterizada por la acumulación patológica de líquido en el espacio pleural. En México, los estudios sobre la epidemiología del derrame pleural provienen principalmente de hospitales de tercer nivel, los cuales tienden a recibir casos más complejos y cuentan con acceso a estudios diagnósticos avanzados. **Objetivo:** Describir las características clínicas, radiológicas y del líquido pleural de pacientes con derrame pleural en un hospital de segundo nivel de atención del noreste de México. **Materiales y métodos:** Estudio transversal, retrospectivo, descriptivo. Se incluyeron pacientes hospitalizados en el Hospital General de Zona con Medicina Familiar No. 2 de la ciudad de Saltillo, Coahuila entre noviembre 2024 y junio 2025 con derrame pleural confirmado por toracocentesis. **Resultados:** Se analizaron 48 casos, el 56.3% fueron hombres, la media de edad fue de 61.1 ± 14.49 años. El derrame se presentó de forma unilateral en 93.7% con predominio de lado derecho (71.1%). El 68.7% de los derrames fueron exudados; las principales etiologías fueron paraneumónicas (27.1%), y asociado a neoplasias (22.9%). El 18.8% de los pacientes tuvieron un desenlace fatal y el 8.3% presentaron recurrencia del derrame pleural. **Conclusiones:** Los derrames pleurales en el hospital general de segundo nivel mostraron un predominio de causas paraneumónicas y neoplásicas, con alta frecuencia de comorbilidades asociadas y una mortalidad hospitalaria relevante.

Hospital General de Zona con
Medicina Familiar No. 2,
Instituto Mexicano del Seguro
Social, Saltillo, Coahuila,
México.

Palabras clave: derrame pleural; derrame pleural maligno; empiema pleural; epidemiología.

Correspondencia
endo.ricardogc@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6863-186X>
Fecha de recepción
28 de noviembre de 2025.
Fecha de aceptación
14 de enero de 2025.

ABSTRACT

Pleural effusion is a common condition characterized by the pathological accumulation of fluid in the pleural space. In Mexico, studies on the epidemiology of pleural effusion come mainly from tertiary care hospitals, which tend to receive more complex cases and have access to advanced diagnostic studies. Objective: To describe the clinical, radiological, and pleural fluid characteristics of patients with pleural effusion in a secondary care hospital in northeastern Mexico. Materials and methods: A cross-sectional, retrospective, descriptive study was carried out. Patients admitted to Hospital General de Zona con Medicina Familiar No. 2 in Saltillo, Coahuila, between November 2024 and June 2025 with pleural effusion confirmed by thoracentesis were included. Results: A total of 48 cases were analyzed; 56.3% were men, and the mean age was 61.1 ± 14.49 years. The effusion presented unilaterally in 93.7% of cases, with a predominance on the right side (71.1%). Pleural effusions were exudates in 68.7% of the cases; the main etiologies were parapneumonic (27.1%) and neoplasia (22.9%). Patients had a fatal outcome in 18.8% of the cases and 8.3% of them presented with recurrence of pleural effusion. Conclusions: Pleural effusions in this secondary care hospital showed a predominance of parapneumonic and neoplastic causes, with a high frequency of associated comorbidities and significant in-hospital mortality.

Key words: pleural effusion; pleural effusion malignant; empyema pleural; epidemiology.

INTRODUCCIÓN

El derrame pleural es la acumulación anormal de líquido en el espacio pleural (Jany & Welte, 2019). En Estados Unidos, su incidencia para 2016 fue de 350-360 casos por cada 100,000 habitantes (Mummadi y col., 2021). Aunque se han identificado más de 60 causas, la mayoría de los casos se deben a insuficiencia cardíaca, neoplasias e infecciones como neumonía y tuberculosis (Porcel y col., 2014).

El abordaje diagnóstico inicia con la diferenciación entre trasudado y exudado mediante los criterios de Light (Gasparini & Bonifazi, 2017; Light y col., 1972). Para mejorar la clasificación, se han propuesto parámetros adicionales, como el gradiente de albúmina o de colesterol y el péptido natriurético cerebral



N-terminal (Bielsa y col., 2012; Porcel y col., 2007). En etiologías infecciosas o neoplásicas, resultan útiles la citología, los cultivos, el pH y la glucosa del líquido pleural (Botana Rial y col., 2023; Porcel, 2015).

En la radiografía de tórax, el volumen del derrame puede estimarse por el borramiento del ángulo costodiafragmático (>200 ml) o del costofrénico (>500 ml) (Blackmore y col., 1996). El ultrasonido permite caracterizar el derrame y guiar las intervenciones de forma segura y costo-efectiva (Shao y col., 2022; Yang y col., 1992). La tomografía computarizada y la resonancia magnética complementan la evaluación del parénquima pulmonar, del mediastino y de las estructuras adyacentes (Hallifax y col., 2017; Ferreira y col., 2020).

La epidemiología del derrame pleural en México proviene principalmente de hospitales de tercer nivel, caracterizados por una mayor complejidad diagnóstica y un sesgo de referencia. Por ello, el objetivo de este estudio fue describir las características clínicas, radiológicas y del líquido pleural de pacientes con derrame pleural en un hospital de segundo nivel de atención del noreste de México.

METODOLOGÍA

Estudio transversal, retrospectivo, descriptivo. Se revisaron los expedientes de todos los pacientes hospitalizados en el Hospital General de Zona con Medicina Familiar No. 2 (Saltillo, Coahuila) entre noviembre de 2024 y junio de 2025 con diagnóstico radiográfico de derrame pleural confirmado mediante toracocentesis. Se excluyeron aquellos con derrame pleural secundario a cirugía torácica o cardíaca reciente (post operatorio inmediato <7 días).

El estudio fue aprobado por el Comité Local de Investigación en Salud 504 y el Comité de Ética 5048 (R-2025-504-028), y se clasificó como investigación sin riesgo, por lo que no se requirió consentimiento informado.

De cada paciente se evaluó sexo, edad, índice tabáquico antecedente de toxicomanías, comorbilidades, días de estancia hospitalaria y desenlace. El derrame se clasificó según lateralidad y magnitud radiológica. Se definió exudado según criterios de Light: 1.- relación de proteínas entre el líquido pleural y suero superior a 0.5; 2.- relación de deshidrogenasa láctica (DHL)

entre el líquido pleural y suero superior a 0.6, y 3.- DHL del líquido pleural mayor a los dos tercios del límite superior de la DHL sérica; el resto se consideró trasudado (Light y col., 1972).

Del análisis del líquido pleural se obtuvieron valores de glucosa, DHL, recuento celular [leucocitos (número/ml), polimorfonucleares (%/total de leucocitos) y linfocitos (%/total de leucocitos)], resultados de Gram, BAAR y cultivo. Los datos se expresaron como medias \pm desviación estándar o medianas y rangos.

RESULTADOS

Se incluyeron 48 expedientes, 56.3 % fueron hombres. La media de edad fue de 61.1 ± 14.49 años. El 70.8% de los pacientes no refirieron tabaquismo; el 4.2 % presentó un índice moderado, 12.5 %, un índice intenso y 12.5 %, un índice alto. Sólo 4.2 % de los pacientes eran usuarios de drogas inyectables o inhalantes. El 52.1% tenían antecedentes de diabetes mellitus, 56.3 % de hipertensión arterial, 27.1 % de enfermedad renal crónica y 12.5 % de neoplasias malignas. La mediana de días de estancia hospitalaria fue de nueve (4.00-15.75), 18.8 % de los pacientes tuvieron un desenlace fatal durante su internamiento y 8.3 % presentó recurrencia.

El derrame pleural fue unilateral en 93.7 % de los casos, con predominio del lado derecho (71.1 %). La mediana de la magnitud del derrame, estimada por radiografía posteroanterior, fue del 60% (40–73.7 %). De acuerdo con los criterios de Light, 68.7 % fueron exudados y 31.3 % trasudados. Las principales etiologías fueron el derrame paraneumónico (27 %), las neoplasias (23 %) y la enfermedad renal crónica (21 %) (Tabla 1).

Tabla 1. Etiología del derrame pleural en 48 pacientes hospitalizados.

Etiología	Frecuencia	Porcentaje
Infecciosa	13	27%
Neoplasia	11	23%
Enfermedad renal crónica	10	21%
Insuficiencia cardiaca	7	15%
Hepatopatía crónica	3	6%
Idiopático	3	6%
Traumático	1	2%

En el estudio citoquímico, la mediana de DHL pleural fue de 344UI/l (104-1409), la mediana de glucosa pleural fue de 106mg/dl (54-179), la mediana de leucocitos fue de 658 leucocitos/ml (138-2690). La mediana del recuento celular de mononucleares fue de 56 % (21%-78%), mientras que la de polimorfonucleares fue de 31 % (8 %-58 %) (Tabla 2).

Tabla 2. Características del líquido pleural en 48 pacientes hospitalizados.

Variable	Mediana (rango)
DHL pleural (UI/L)	344 (104 – 1409)
Glucosa pleural (mg/dl)	106 (54 – 179)
Leucocitos (células/ml)	658 (138 – 2690)
Mononucleares (%)	56% (21% – 78%)
Polimorfonucleares (%)	31% (8% – 58%)
Gram positivo (n, %)	11 (22.9%)
Cultivo positivo (n, %)	6 (12.5%)
BAAR positivo (n, %)	0

Ningún paciente fue reportado con muestra positiva para bacilos ácido-alcoholresistentes (BAAR). La tinción de Gram fue negativa en 77.1 % de los casos; y en aquellos con tinción positiva se identificaron cocos Gram positivos de manera aislada en 90 % de los casos y de forma conjunta con levaduras en 10 %. Seis cultivos fueron positivos (12.5 %) para *Kocuria kristinae*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus epidermidis* y *Staphylococcus hominis*.

DISCUSIÓN

El presente estudio retrospectivo, realizado en un hospital de segundo nivel del noreste de México, analizó 48 expedientes con diagnósticos de derrame pleural. La edad promedio de presentación fue de 61 años, con predominio masculino, hallazgos que concuerdan con series internacionales (Mummadi y col., 2021; Porcel y col., 2014). La alta prevalencia de comorbilidades, como diabetes mellitus (52.1 %) e hipertensión arterial (56.3 %), coincide con la carga habitual en pacientes hospitalizados (Gasparini & Bonifazi, 2017).

Respecto a los derrames, 68.7 % fueron exudativos, proporción semejante a lo reportado en la literatura internacional (Jany & Welte, 2019; Porcel y col.,

2014). Las principales etiologías fueron los derrames paraneumónicos (27 %), seguidos por los asociados a neoplasia (23 %), y a enfermedad renal crónica (21 %). Este patrón es semejante al de estudios recientes en hospitales de referencia mexicanos (Sosa-Juárez y col., 2013; Villarreal-Vidal y col., 2019), aunque difiere notablemente de estudios previos en los que la tuberculosis era la principal causa (García-López & Salazar-Lezama, 1999). Estos cambios reflejan una transición epidemiológica, asociada al descenso de las enfermedades infecciosas y al aumento de las condiciones crónicas y neoplásicas.

Comparados con otros países, nuestros resultados se asemejan a los reportados en España y Estados Unidos, donde predominan los derrames malignos y paraneumónicos (Gómez y col., 2007; Porcel y col., 2014). En contraste, difieren de regiones con mayor prevalencia de tuberculosis, como Asia y Medio Oriente (Al-Qorain y col., 1994; Khan y col., 2011; Tian y col., 2021). Estas variaciones responden a diferencias en la prevalencia de enfermedades crónicas, en los factores socioeconómicos y en la disponibilidad de métodos diagnósticos especializados (Tabla 3).

TABLA 3. COMPARACIÓN DE HALLAZGOS ETIOLÓGICOS DE ESTUDIOS NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE EL DERRAME PLEURAL.

Estudio	Región / Periodo	n	Etiología más frecuente	% Infecciosa	% Neoplasia
Nacionales					
(García-López & Salazar-Lezama, 1999)	Ciudad de México (1991-1996)	314	Infecciosa	59% (tuberculosis 42%, empiema 17%)	28%
(Felipe & Quintana, 2012)	Ciudad de México (2005-2010)	67	Neoplasia	22% (paraneumónica 22%)	43.5%
(Mejía-Olivares y col., 2013)	Nuevo León (2011-2012)	138	Infecciosa	45.6% (empiema 23.9%, tuberculosis 12.3%, paraneumónica 7.2%, otros 2.1%)	32.6%
(Sosa-Juárez y col., 2013)	Ciudad de México (2011-2012)	364	Infecciosa	52% (paraneumónica 24.7%, tuberculosis 16.2%, empiema 11.1%)	33.5%
(Villarreal-Vidal y col., 2019)	Yucatán (2015-2017)	178	Infecciosa	41% (paraneumónica 34%, tuberculosis 7%)	19%
Presente estudio	Coahuila (2024-2025)	48	Infecciosa	27% (paraneumónica 27%)	22.9%
Internacionales					
(Al-Qorain y col., 1994)	Arabia Saudita (1987-1991)	201	Infecciosa	51% (tuberculosis 37%, paraneumónica 14%)	18%
(Gómez y col., 2007)	Estados Unidos (2001-2003)	300	Neoplasia	29% (hospitalizados) (paraneumónica / empiema)	39% (hospitalizados) 40% (ambulatorios)
(Khan y col., 2011)	Catar (2005)	200	Infecciosa	51.5% (tuberculosis 32.5%, paraneumónica 19%)	15%
(Porcel y col., 2014)	España (1994-2013)	3,077	Neoplasia	28% (paraneumónica 19%, tuberculosis 9%)	27%
(Tian y col., 2021)	China (2018)	24,711	Infecciosa	37.4% (paraneumónica/ empiema 25.1%, tuberculosis 12.3%)	23.7%

Respecto al análisis del líquido pleural, se observó amplia variabilidad en los valores de DHL y glucosa, lo cual refleja la heterogeneidad etiológica. El análisis citoquímico mostró predominio de células mononucleares, esperado en derrames crónicos o neoplásicos (Botana Rial y col., 2023; Porcel, 2015; Villarreal-Vidal y col., 2019). La baja positividad a la tinción de Gram y de los cultivos coincide con reportes nacionales (Mejía-Olivares y col., 2013; Sosa-Juárez y col., 2013) e internacionales (Botana Rial y col., 2023), probablemente relacionada con el uso previo de antibióticos o con baja carga bacteriana.

El estudio presenta limitaciones, entre ellas el tamaño muestral reducido, el diseño retrospectivo y la disponibilidad limitada de estudios complementarios. Además, su carácter unicéntrico limita la generalización de los resultados. Entre las fortalezas un acercamiento representativo del abordaje del derrame pleural en un entorno clínico habitual en nuestro país. Se requieren futuras investigaciones multicéntricas y prospectivas que permitan comparar los distintos niveles de atención y su impacto en los desenlaces clínicos.

CONCLUSIONES

Los derrames pleurales en el hospital general de segundo nivel estudiado mostraron un predominio de causas paraneumónicas y neoplásicas, con alta frecuencia de comorbilidades asociadas y una mortalidad hospitalaria relevante. Los datos sugieren una transición epidemiológica en México, alejada de etiologías infecciosas tradicionales y más semejante a países de ingresos altos.

REFERENCIAS

- al-Qorain, A., Larbi, E. B., al-Muhanna, F., Satti, M. B., Baloush, A., & Falha, K. (1994). Pattern of pleural effusion in Eastern Province of Saudi Arabia: A prospective study. *East African Medical Journal*, 71(4): 246-249. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8062772>
- Bielsa, S., Porcel, J. M., Castellote, J., Mas, E., Esquerda, A., & Light, R. W. (2012). Solving the Light's criteria misclassification rate of cardiac and hepatic transudates. *Respirology*, 17(4): 721-726. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2012.02155.x>



- Blackmore, C. C., Black, W. C., Dallas, R. V., & Crow, H. C. (1996). Pleural fluid volume estimation: A chest radiograph prediction rule. *Academic Radiology*, 3(2): 103-109. [https://doi.org/10.1016/s1076-6332\(05\)80373-3](https://doi.org/10.1016/s1076-6332(05)80373-3)
- Botana Rial, M., Pérez Pallarés, J., Cases Viedma, E., López González, F. J., Porcel, J. M., Rodríguez, M., Romero Romero, B., Valdés Cuadrado, L., Villena Garrido, V., & Cordovilla Pérez, R. (2023). Diagnosis and Treatment of Pleural Effusion. Recommendations of the Spanish Society of Pulmonology and Thoracic Surgery. Update 2022. *Archivos De Bronconeumología*, 59(1): 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2022.09.017>
- Felipe, J. R. M., & Quintana, M. Q. (2012). Causas y prevalencia del derrame pleural en el Hospital General Naval de Alta Especialidad. *Neumol Cir Torax*, 28(3).
- Ferreiro, L., Toubes, M. E., San José, M. E., Suárez-Antelo, J., Golpe, A., & Valdés, L. (2020). Advances in pleural effusion diagnostics. *Expert Review of Respiratory Medicine*, 14(1): 51-66. <https://doi.org/10.1080/17476348.2020.1684266>
- García-López, M. P., & Salazar-Lezama, M. A. (1999, verano). *Etiología del derrame pleural en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias*. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex*.
- Gasparini, S., & Bonifazi, M. (2017). Pleural diseases. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, 23(3): 269-274. <https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000000374>
- Gomez, M., Agrawal, V., Doelken, P., & Sahn, S. A. (2007). Epidemiology of pleural effusions at a university hospital. *Chest*, 132(4):618A. https://doi.org/10.1378/chest.132.4_MeetingAbstracts.618a
- Hallifax, R. J., Talwar, A., Wrightson, J. M., Edey, A., & Gleeson, F. V. (2017). State-of-the-art: Radiological investigation of pleural disease. *Respiratory Medicine*, 124: 88-99. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2017.02.013>
- Jany, B., & Welte, T. (2019). Pleural Effusion in Adults-Etiology, Diagnosis, and Treatment. *Deutsches Arzteblatt International*, 116(21): 377-386. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2019.0377>
- Khan, F. Y., Alsamawi, M., Yasin, M., Ibrahim, A. S., Hamza, M., Lingawi, M., Abbas, M. T., & Musa, R. M. (2011). Etiology of pleural effusion among adults in the state of Qatar: A 1-year hospital-based study. *East Mediterr Health J*. 2011;17(7):611-618.
- Light, R. W., Macgregor, M. I., Luchsinger, P. C., & Ball, W. C. (1972). Pleural effusions: The diagnostic separation of transudates and exudates. *Annals of Internal Medicine*, 77(4): 507-513. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-77-4-507>
- Mejía-Olivares, B., Valdez-López, H. G., Martínez-Delgado, I. A., Guzmán-Delgado, N. E., Castillo-Sánchez, J. F., Pinto-Arocha, A., & Rentería-Perea, A. (2013). Etiología y prevalencia del derrame pleural en la UMAE No. 34 Monterrey, Nuevo León, México. *Neumol Cir Torax*, 72(1):7.



- Mummadi, S. R., Stoller, J. K., Lopez, R., Kailasam, K., Gillespie, C. T., & Hahn, P. Y. (2021). Epidemiology of Adult Pleural Disease in the United States. *Chest*, 160(4): 1534-1551. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2021.05.026>
- Porcel, J. M. (2015). Distinguishing complicated from uncomplicated parapneumonic effusions. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, 21(4): 346-351. <https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000000164>
- Porcel, J. M., Chorda, J., Cao, G., Esquerda, A., Ruiz-González, A., & Vives, M. (2007). Comparing serum and pleural fluid pro-brain natriuretic peptide (NT-proBNP) levels with pleural-to-serum albumin gradient for the identification of cardiac effusions misclassified by Light's criteria. *Respirology (Carlton, Vic.)*, 12(5): 654-659. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2007.01109.x>
- Porcel, J. M., Esquerda, A., Vives, M., & Bielsa, S. (2014). Etiology of Pleural Effusions: Analysis of More Than 3,000 Consecutive Thoracenteses. *Archivos de Bronconeumología (English Edition)*, 50(5): 161-165. <https://doi.org/10.1016/j.arbr.2014.03.012>
- Shao, R.-J., Du, M.-J., & Xie, J.-T. (2022). Use of lung ultrasound for the diagnosis and treatment of pleural effusion. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 26(23): 8771-8776. https://doi.org/10.26355/eurrev_202212_30548
- Sosa-Juárez, A., García-Sancho, C., Sánchez-Hernández, J. D., Jaime-Capetillo, M. E., Fernández-Plata, R., Martínez-Briseño, D., Torre-Bouscoulet, L., & Pérez-Padilla, R. (2013). Epidemiología del derrame pleural en el INER, 2011-2012. *Neumol Cir Torax*, 72(2):9.
- Tian, P., Qiu, R., Wang, M., Xu, S., Cao, L., Yang, P., & Li, W. (2021). Prevalence, Causes, and Health Care Burden of Pleural Effusions Among Hospitalized Adults in China. *JAMA Network Open*, 4(8): e2120306. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.20306>
- Villarreal-Vidal, A. D., Vargas-Mendoza, G., & Cortes-Telles, A. (2019). Caracterización integral del derrame pleural en un hospital de referencia del sureste de México. *NCT Neumología y Cirugía de Tórax*, 78(3): 277-283. <https://doi.org/10.35366/NT193C>
- Yang, P. C., Luh, K. T., Chang, D. B., Wu, H. D., Yu, C. J., & Kuo, S. H. (1992). Value of sonography in determining the nature of pleural effusion: Analysis of 320 cases. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 159(1): 29-33. <https://doi.org/10.2214/ajr.159.1.1609716>



DEGRADACIÓN DE COLORANTES EN SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO PLASMA JET ATMOSFÉRICO

INVESTIGACIÓN

DEGRADATION OF DYES IN AQUEOUS SOLUTIONS USING ATMOSPHERIC PLASMA JET

ROMERO ZÚÑIGA, Gabriela Yolotzin¹NEIRA VELÁZQUEZ, María
Guadalupe¹SORIA ARGÜELLO, Gustavo¹DE LA PEÑA AGUIRRE, Daniel²CANO SALAZAR, Lucía Fabiola²

RESUMEN

Se investigó la capacidad de un plasma jet atmosférico, alimentado con aire, para degradar cinco colorantes orgánicos en soluciones acuosas. El estudio se realizó siguiendo un diseño experimental de laboratorio con réplicas por triplicado, evaluando la degradación visualmente y mediante espectrofotometría UV-Vis. Los resultados demuestran que la eficiencia de degradación está relacionada con la estructura química de los colorantes. A partir de concentraciones iniciales del orden de 5 a 10 mg/L, el verde malaquita, con una concentración inicial de 3.74 mg/L, experimentó la mayor remoción (88%), seguido por el rojo congo, con 9.92 mg/L, que tuvo una remoción del (75%) y el naranja de metilo, con 7.61 mg/L, que alcanzó una remoción del (72%). El rojo de metilo, con 5.48 mg/L, mostró una respuesta moderada (37%), mientras que el azul de metileno, con 6.38 mg/L, fue altamente resistente, con una degradación mínima de solo el 1%. El uso de aire como gas de proceso es una ventaja significativa, ya que elimina los costos asociados a gases nobles y genera simultáneamente especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (ROS/RNS) que actúan como agentes oxidantes. Los resultados concuerdan con la literatura existente, validando el desempeño del reactor y sugiriendo que el plasma jet es una tecnología viable para el tratamiento de efluentes industriales, especialmente en las industrias textil y de curtidurías. Se realizarán estudios futuros para cuantificar la posible fotodegradación y caracterizar los subproductos.

Palabras clave: plasma jet atmosférico; degradación de colorantes; tratamiento de agua; contaminación con colorantes; industria textil.

1. Centro de Investigación en Química Aplicada, SECIHTI, Saltillo, Coahuila, México.
2. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México.

Correspondencia
gustavo.soria@ciqa.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-9771-8638>

Fecha de recepción
18 de septiembre de 2025.
Fecha de aceptación
28 de noviembre de 2025.

ABSTRACT

The ability of an atmospheric plasma jet, fed with air, to degrade five organic dyes in aqueous solutions was investigated. The study was conducted using a laboratory experimental design with triplicate replicates, evaluating degradation visually and by UV-Vis spectrophotometry. The results demonstrate that the degradation of efficiency is related to the chemical structure of the dyes. From initial concentrations ranging from 5 to 10 mg/L, malachite green, with an initial concentration of 3.74 mg/L, showed the highest removal (88%), followed by congo red, at 9.92 mg/L, which achieved a removal of 75% and methyl orange, at 7.61 mg/L, which reached a removal of 72%. Methyl red, at 5.48 mg/L, showed a moderate response (37%), while methylene blue, at 6.38 mg/L, was highly resistant, with a minimal degradation of only 1%. The use of air as a process gas is a significant advantage, as it eliminates costs associated with noble gases and simultaneously generates reactive oxygen and nitrogen species (ROS/RNS) that act as oxidizing agents. These findings are consistent with existing literature, validating the reactor's performance and suggesting that the plasma jet is a viable technology for industrial effluent treatment, especially in the textile and tannery industries. Further research will be conducted to quantify potential photodegradation and characterize by-products.

Keywords: atmospheric plasma jet; dye degradation; water treatment; organic contamination; reactive oxygen species.

I. INTRODUCCIÓN

La proliferación de industrias como la textil, alimentaria y farmacéutica ha provocado la descarga masiva de efluentes cargados con colorantes sintéticos, constituyendo un grave problema de contaminación hídrica a nivel global (Wilayat y col., 2024). Con una producción anual que supera el millón de toneladas y un catálogo de más de 100,000 tintes comerciales, grandes volúmenes de estos compuestos terminan en cuerpos de agua, a menudo sin un tratamiento adecuado (Arora, 2014). La presencia de estos colorantes no solo causa un impacto estético adverso, sino que también degrada la calidad del agua al reducir la penetración de la luz solar, inhibiendo la fotosíntesis y afectando la base de la cadena trófica acuática (Al-Tohamy y col., 2022).

La peligrosidad de estos contaminantes radica en su estructura química. Colorantes de uso extendido como los azoicos (p. ej., rojo congo, naranja de metilo), de trifenilmetano (p. ej., verde malaquita) y de fenotiazina (p. ej., azul de metileno) poseen estructuras aromáticas complejas que les confieren una alta estabilidad química y una marcada resistencia a la degradación biológica, una propiedad conocida como recalcitrancia (Al-Tohamy y col., 2022; Sarkar y col., 2021; Shindhal y col., 2021; Wilayat y col., 2024). Más preocupante aún es su perfil toxicológico; muchos de estos compuestos y sus intermediarios de degradación son tóxicos, mutagénicos e incluso carcinogénicos (Shindhal y col., 2021). De igual modo, el verde malaquita es altamente tóxico para organismos acuáticos y difícilmente biodegradable; bajo fotólisis UV directa apenas sufre decoloración ($\sim 12\%$ en 1 h), mostrando la necesidad de procesos avanzados para su eliminación (Wilayat y col., 2024). La presencia continua de estos tintes en aguas residuales industriales sin depurar constituye un desafío crítico, ya que pueden acumularse como micro contaminantes en diversos compartimentos (aguas, suelos, sedimentos, biota) y generar riesgos ecotoxicológicos a largo plazo (Tkaczyk y col., 2020).

Los métodos de tratamiento convencionales, como los procesos biológicos o fisicoquímicos (coagulación, adsorción), han demostrado ser en gran medida ineficaces para la eliminación completa de estos colorantes recalcitrantes, a menudo transfiriendo el contaminante de una fase a otra o generando residuos secundarios problemáticos como los lodos (Okoniewska, 2021; Saqib y col., 2024). Como respuesta, se han desarrollado los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs), que se basan en la generación in situ de especies altamente reactivas, principalmente el radical hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), para destruir las moléculas de los contaminantes (Al-Tohamy y col., 2022; Salazar y col., 2024). Sin embargo, los POAs establecidos como la ozonización, el proceso Fenton y la fotocatalisis, si bien son efectivos, presentan sus propias limitaciones, como altos costos operativos, la necesidad de un control estricto del pH, la generación de lodos de hierro o la dificultad para separar los catalizadores (Hu y col., 2018; Salazar y col., 2024).

En este contexto, la tecnología de plasma no térmico (o frío) a presión atmosférica ha surgido como una alternativa innovadora y limpia. El plasma, un gas parcialmente ionizado, al ser generado con aire, se convierte en un medio oxidativo que incluye un amplio espectro de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (ROS/RNS), como $\bullet\text{OH}$, O_3 , H_2O_2 , $\text{O}_2^{\bullet-}$, además de radiación UV y campos eléctricos, todo ello sin la necesidad de añadir



reactivos químicos adicionales y operando a temperatura y presión ambiente (Giardina y col., 2024; Kumar y col., 2022; Kyere-Yeboah y col., 2023). Los reactores tipo jet de plasma a presión atmosférica (APPJ), ofrecen una configuración práctica y económica, especialmente cuando se utiliza aire como gas de trabajo, para introducir estas especies reactivas en soluciones acuosas y promover la degradación de contaminantes. Adicionalmente, la descarga de plasma puede producir peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y ozono disueltos, así como irradiación UV local, creando un cóctel oxidativo completo que potencialmente supera a cada proceso por separado (Chavan & Patil, 2024; Salazar y col., 2024).

Por ejemplo, Zhou y col. (2021) demostraron mediante pruebas de captura de radicales que, en un reactor de microburbujas de plasma, la generación simultánea de $\bullet OH$ y $O_2\bullet^-$ fue la clave para lograr la degradación rápida de distintos tintes modelo (Zhou y col., 2021). Otros trabajos han documentado la efectividad de plasmas no térmicos en la degradación de colorantes orgánicos en agua. Porjai y col. (2023) emplearon un plasma jet de aire a presión atmosférica para degradar azul de metileno en solución, observando una decoloración sustancial en pocos minutos de tratamiento bajo condiciones óptimas (Porjai y col., 2023). García y col. (2017) reportaron la eliminación efectiva de tintes orgánicos en solución utilizando un plasma jet atmosférico de microondas, logrando la degradación, el estudio mostró que las especies excitadas de argón y el peróxido de hidrógeno generados durante la descarga fueron claves en el proceso de oxidación, obteniendo una mineralización parcial de los contaminantes y la formación de subproductos menos tóxicos (García y col., 2017). Por su parte, Attri y col. (2016) compararon jets de plasma directos vs. indirectos en la degradación de tintes, concluyendo que en ambos casos la oxidación avanzada mediante especies reactivas logra remover los cromóforos, aunque con diferencias en las rutas químicas según el modo de contacto (Attri y col., 2016). A diferencia de la mayoría de AOPs químicos, el plasma no introduce reactivos contaminantes al medio; por ello se le considera una tecnología limpia, donde los únicos insumos son energía eléctrica y un gas (nitrógeno, oxígeno, argón u otros). A pesar de los avances, la investigación en este campo presenta áreas de oportunidad significativas para continuar con el desarrollo de trabajos que mediante las condiciones adecuadas de generación puedan contribuir en una mayor degradación de los colorantes.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto del tratamiento con el jet de plasma propuesto en la degradación de cinco colorantes orgánicos

estructuralmente distintos, verde malaquita, azul de metileno, rojo congo, rojo de metilo y naranja de metilo en solución acuosa, utilizando un jet de plasma de aire a presión atmosférica. Este estudio busca evaluar la eficiencia de la degradación bajo condiciones de tratamiento estandarizadas, sentando las bases para futuras investigaciones sobre la identificación de subproductos y la evolución de la toxicidad. De esta manera, se pretende ofrecer una evaluación más integral de la viabilidad del plasma no térmico como una tecnología de tratamiento de aguas residuales industriales con tintes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio evalúa la degradación de colorantes en soluciones acuosas utilizando un sistema de plasma jet atmosférico. El plasma jet atmosférico es un tipo de plasma no térmico que se caracteriza por una diferencia de temperatura entre los electrones y las partículas más pesadas. En este sistema, los electrones alcanzan temperaturas considerablemente superiores a las de las especies neutras e iones, lo que da como resultado una temperatura del gas cercana a la temperatura ambiente (Neira-Velázquez y col., 2024). Durante la operación de plasma jet atmosférico, la interacción de electrones de alta energía con las moléculas del aire ambiente induce la formación de diversas especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, tales como radicales hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), superóxido ($\text{O}_2\bullet^-$), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Estas especies juegan un papel fundamental en los procesos de oxidación avanzada aplicados a la degradación de colorantes orgánicos en soluciones acuosas, donde se ha demostrado que estas especies son capaces de atacar enlaces azo ($-\text{N}=\text{N}-$), anillos aromáticos y grupos cromóforos presentes en los colorantes, provocando la ruptura de la conjugación molecular y, por ende, la pérdida de color visible (Klumpara y col., 2023; Navaneetha Pandiyaraj y col., 2020; Raji y col., 2022).

El experimento consistió en exponer soluciones individuales de cinco colorantes modelo a este tipo de plasma, con el objetivo de evaluar su eficiencia en la remoción del color y la disminución de la concentración. Para ello, se monitoreó la concentración remanente de cada colorante y se calculó el porcentaje de degradación después del tratamiento. Se implementó un diseño experimental de laboratorio completamente al azar, utilizando estos cinco colorantes modelo de distinta naturaleza química y cada experimento se realizó por triplicado. La variable independiente fue la exposición al plasma



jet atmosférico, mientras que las variables de respuesta fueron la concentración remanente de cada colorante y el porcentaje de degradación, calculado a partir de curvas de calibración específicas para cada compuesto.

2.1 SOLUCIONES Y REACTIVOS

Para evaluar la eficiencia del tratamiento con plasma jet atmosférico en la degradación de colorantes en solución acuosa, se seleccionaron cinco colorantes modelo de diferentes naturalezas químicas: azul de metileno, rojo de metilo, rojo congo, verde malaquita y naranja de metilo (Figura 1). Cada uno de ellos se obtuvo en presentación de polvo y se prepararon soluciones individuales en agua desionizada. Las concentraciones de trabajo fueron seleccionadas con el objetivo de garantizar que la absorbancia se mantuviera dentro del rango lineal del espectrofotómetro y evitar la sobresaturación de los detectores. Esto permitió una medición adecuada y una cuantificación precisa posterior mediante espectrofotometría UV-Vis.

Las concentraciones iniciales utilizadas en el tratamiento fueron: azul de metileno (10 MG/L), rojo congo (10 MG/L), rojo de metilo (8 MG/L), verde malaquita (5 MG/L) y naranja de metilo (8 MG/L). De cada solución se extrajeron 250 ml, los cuales fueron transferidos a un recipiente de vidrio para su tratamiento. La longitud de onda de máxima absorbancia (λ_{max}) de cada colorante se determinó mediante espectrofotometría UV-Vis, la Tabla 1 muestra las características de los colorantes utilizados.

Tabla 1. Información de los colorantes modelo utilizados.

COLORANTE	λ_{max}	MARCA COMERCIAL
VERDE MALAQUITA	620	JALMEK
NARANJA DE METILO	464	CTR SCIENTIFIC
AZUL DE METILENO	664	JALMEK
ROJO CONGO	498	CTR SCIENTIFIC
ROJO DE METILO	520	JALMEK

2.2 TRATAMIENTO POR PLASMA JET ATMOSFÉRICO

Para el tratamiento se empleó un reactor de plasma jet atmosférico no térmico alimentado con aire a un flujo de 18 lpm y empleando una potencia de 150 W. El tiempo de tratamiento fue de 15 min, las muestras sin tratar (controles sin plasma) se conservaron en oscuridad para descartar fotólisis espontánea de los colorantes.

2.3 DETERMINACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA

La cuantificación se realizó en un espectrofotómetro UV-Vis de doble haz (intervalo 200-800 nm; resolución 1 nm). Se registró el espectro completo antes y después del tratamiento; la longitud de onda de máxima absorbancia (λ_{max}) se empleó para el seguimiento cinético de cada colorante. Para cada tinte se construyó una curva de calibración (0-10 MG/L, 1 MG/L de incremento) y se ajustó por regresión lineal ($R^2 > 0.995$ en todos los casos). La concentración residual (C_t) se obtuvo sustituyendo la absorbancia corregida por blanco en la ecuación de la recta y el porcentaje de degradación se calculó con ecuación 1:

$$\text{Porcentaje de Degradación} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (\text{EC.1})$$

Donde C_0 es la concentración inicial.

Los experimentos se realizaron por triplicado independiente ($n=3$). Los valores se expresan como media \pm desviación estándar. Se verificó normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene) y se aplicó ANOVA de una vía para comparar concentraciones antes y después del tratamiento con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

III. RESULTADOS

Al finalizar el tratamiento con el plasma jet atmosférico, las soluciones de colorantes mostraron cambios visuales notables, que se ilustran en la Figura 1, donde se comparan las muestras antes y después de la exposición. De manera general, se observó una disminución perceptible en la intensidad cromática en todas las disoluciones, aunque con variaciones significativas entre los diferentes colorantes.

El verde malaquita experimentó una decoloración casi total, lo que indica una alta eficiencia en su degradación. Por su parte, el rojo congo mostró una disminución intensa de su color, mientras que el rojo de metilo presentó una reducción moderada en su tonalidad. El naranja de metilo también exhibió una disminución apreciable de su color. En contraste, el azul de metileno fue el que menos cambio visible mostró, con una alteración mínima en su

coloración. Estas observaciones visuales son consistentes con los resultados obtenidos de la evaluación espectrofotométrica, que se describen en la siguiente sección.

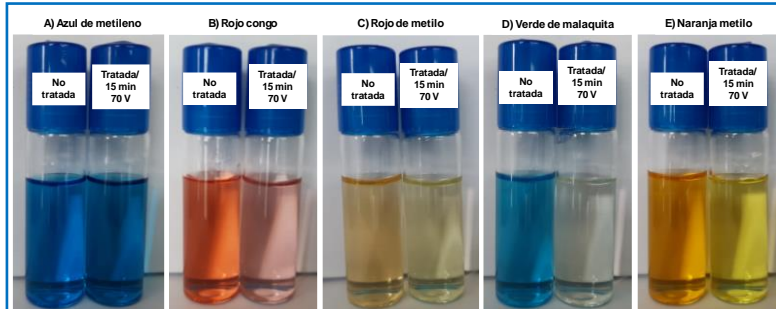


Figura 1. Colorantes no tratados y tratados con plasma jet atmosférico: A) azul de metileno, B) rojo congo, C) rojo de metilo, D) verde malaquita y E) naranja de metilo.

La Figura 1 muestra una comparación visual de la eficiencia de degradación del plasma jet atmosférico sobre los cinco colorantes modelo. Los resultados confirman que el tratamiento logró una variabilidad significativa en la remoción de los colorantes, lo que demuestra una fuerte dependencia de la estructura química.

La cuantificación de la degradación de los colorantes se realizó mediante espectrofotometría UV-Vis para evaluar la eficiencia del plasma jet atmosférico en la remoción del color, siguiendo el método detallado en la sección 2. Los resultados, que presentan los valores de absorbancia y la concentración promedio de los colorantes antes y después del tratamiento, junto con su respectiva desviación estándar (DE), se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de absorbancia y concentración de los colorantes antes y después del tratamiento con plasma.

Colorante y condición	Absorbancia individual			Absorbancia promedio	Absorbancia corregida	Concentración (mg/L)±DE
Verde malaquita (sin tratar)	0.306	0.326	0.324	0.319	0.267	3.744±0.027
Verde malaquita (tratado)	0.047	0.046	0.045	0.046	-0.006	0.439±0.006
Rojo congo (sin tratar)	0.305	0.322	0.307	0.311	0.262	9.922±0.252
Rojo congo (tratado)	0.108	0.111	0.103	0.107	0.058	2.504±0.150
Naranja de metilo (sin tratar)	0.503	0.547	0.531	0.527	0.472	7.606±0.345

Naranja de metilo (tratado)	0.179	0.175	0.178	0.177	0.122	2.125±0.033
Rojo de metilo (sin tratar)	0.059	0.059	0.06	0.059	0.010	5.478±0.244
Rojo de metilo (tratado)	0.055	0.056	0.053	0.055	0.005	3.449±0.655
Azul de metileno (sin tratar)	0.192	0.191	0.21	0.198	0.147	6.384±0.050
Azul de metileno (tratado)	0.197	0.194	0.197	0.196	0.145	6.321±0.040

3.1 EFICIENCIA DE DEGRADACIÓN DE LOS COLORANTES CON EL TRATAMIENTO POR PLASMA JET

La Figura 2 muestra una comparación de la eficiencia de degradación expresada en porcentajes de remoción y sus respectivas desviaciones estándar para cada colorante. Los resultados confirman que el tratamiento logró una variabilidad significativa en la remoción de los colorantes, lo que demuestra una fuerte dependencia de la estructura química. El verde malaquita y el rojo congo fueron los colorantes que mostraron la mayor degradación, con porcentajes promedio de 88% y 75%, respectivamente. La concentración inicial de verde malaquita fue de 3.744 mg/L, la cual se redujo drásticamente a 0.439 mg/L, mientras que la de rojo congo disminuyó de 9.922 mg/L a 2.504 mg/L. La baja desviación estándar en ambos casos indica una alta reproducibilidad y precisión del método de degradación. La alta degradación del verde malaquita se atribuye a su esqueleto de trifenilmetano, rico en posiciones alílicas susceptibles a la oxidación por las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (ROS/RNS) generadas en el plasma. Por otro lado, los porcentajes de degradación del rojo congo y naranja de metilo (72%) sugieren que los enlaces azo ($-N=N-$) son atacados de manera eficiente.

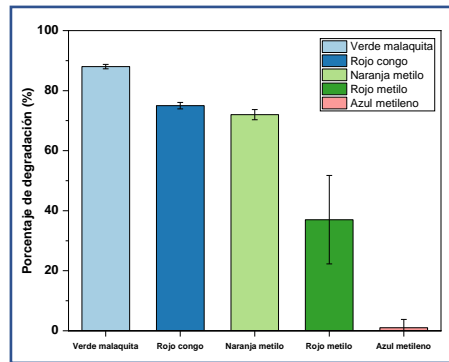


Figura 2. Porcentaje de degradación de los colorantes con plasma jet atmosférico.

El rojo de metilo mostró una respuesta moderada con una degradación del 37%. La concentración en esta solución se redujo de 5.478 mg/L a 3.449 mg/L. La menor eficiencia podría deberse a la presencia de grupos metoxi que ejercen un efecto estabilizador sobre el cromóforo, lo que dificulta su degradación. Este colorante presentó la mayor desviación estándar en la concentración final (0.655 mg/L), lo que sugiere una mayor variabilidad en la respuesta al tratamiento entre las réplicas.

El azul de metileno resultó ser el colorante más resistente al tratamiento, con una degradación mínima de solo 1%. Su concentración inicial de 6.384 mg/L apenas se vio afectada, finalizando en 6.321 mg/L. La resistencia de este colorante puede atribuirse a su anillo fenotiazínico heteroaromático y su forma catiónica, que promueven la disipación de radicales y la recombinación, lo que lo hace menos vulnerable a la acción oxidativa del plasma en las condiciones de tratamiento utilizadas.

Las altas eficiencias de degradación observadas para el verde malaquita y el rojo congo son relevantes para el tratamiento de efluentes de la industria textil y de curtidurías, donde estos tintes son de uso común. En México, esta problemática es particularmente evidente en cuerpos de agua como el Río Atoyac, donde la descarga de contaminantes industriales afecta de manera significativa la calidad del agua. El uso de aire como gas de proceso para generar el plasma es una ventaja tecnológica, ya que elimina los costos asociados a gases nobles y crea una mezcla sinérgica de ROS/RNS, lo que resulta en un sistema compacto y económicamente viable para el tratamiento in situ de aguas residuales.

A pesar de los resultados prometedores, es importante considerar algunas limitaciones. La posible contribución de la fotodegradación en la remoción del verde malaquita debe ser cuantificada con experimentos control en oscuridad para confirmar el efecto exclusivo del plasma. Además, futuros estudios deberían caracterizar los subproductos de la degradación y determinar la reducción de toxicidad para una evaluación completa del proceso. Para optimizar la degradación de colorantes más recalcitrantes como el azul de metileno, se podrían explorar ajustes en la potencia del plasma, el flujo de gas y el tiempo de residencia y la potencia aplicada. Los resultados de este estudio demuestran que el plasma jet atmosférico representa una tecnología limpia y versátil con el potencial de degradar selectivamente colorantes orgánicos.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran que el plasma jet atmosférico representa una tecnología efectiva para la degradación de colorantes orgánicos en soluciones acuosas. La eficiencia del proceso está directamente correlacionada con la estructura química de los compuestos y los parámetros de operación, confirmando que las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (ROS/RNS) generadas por el plasma actúan como agentes oxidantes selectivos. Se encontró una degradación eficiente para el verde de malaquita y el rojo congo, seguida del naranja de metilo, mientras que el rojo de metilo mostró una respuesta moderada. En contraste, el azul de metileno resultó ser el más resistente al tratamiento. El uso de aire como gas de proceso es una ventaja significativa, lo que lo convierte en una alternativa económica y ambientalmente sostenible.

Este trabajo se alinea directamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 de la Agenda 2030, que busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. La tecnología de plasma jet demuestra ser un proceso limpio y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas, contribuyendo a la meta 6.3 de mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación. Asimismo, la investigación tiene implicaciones positivas para el ODS 12 (Producción y consumo sostenibles), al proponer una solución para la gestión de desechos de la industria textil y de curtidurías.



Esta investigación demuestra la utilidad del proceso para el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas contaminadas con colorantes como las de la industria textil y de curtidurías, aunque se requiere investigación futura para cuantificar la posible fotodegradación y caracterizar los subproductos generados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la SECIHTI por el apoyo financiero brindado a través del proyecto de Ciencia Básica y de Frontera 2025 (CBF-2025-I-4203), lo que hizo posible la realización de este estudio y al Laboratorio Nacional de Materiales Grafénicos por facilitar el uso de sus instalaciones y equipos. Daniel de la Peña Aguirre agradece a la SECIHTI la beca otorgada para sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Al-Tohamy, R., Ali, S. S., Li, F., Okasha, K. M., Mahmoud, Y. A.-G., Elsamahy, T., Jiao, H., Fu, Y., & Sun, J. (2022). A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 231: 113160. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160>
- Arora, S. (2014). Textile dyes: It's impact on environment and its treatment. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 05(03):1000e146. <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000e146>
- Attri, P., Yusupov, M., Park, J. H., Lingamdinne, L. P., Koduru, J. R., Shiratani, M., Choi, E. H., & Bogaerts, A. (2016). Mechanism and comparison of needle-type non-thermal direct and indirect atmospheric pressure plasma jets on the degradation of dyes. *Scientific Reports*, 6(1): 34419. <https://doi.org/10.1038/srep34419>
- Chavan, U., & Patil, S. (2024). Water treatment using atmospheric pressure plasma: dielectric barrier discharge and corona discharge method, and reactive species analysis. *E3S Web of Conferences*, 559: 03006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202455903006>
- García, M. C., Mora, M., Esquivel, D., Foster, J. E., Rodero, A., Jiménez-Sanchidrián, C., & Romero-Salguero, F. J. (2017). Microwave atmospheric pressure plasma jets for wastewater treatment: Degradation of methylene blue as a model dye. *Chemosphere*, 180: 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.126>

- Giardina, A., Lofrano, G., Libralato, G., Siciliano, A., Marotta, E., & Paradisi, C. (2024). Air non-thermal plasma, a green approach for the treatment of contaminated water: the case of sulfamethoxazole. *Frontiers in Environmental Chemistry*, 5: 1416702. <https://doi.org/10.3389/fenvc.2024.1416702>
- Hu, Y., Li, Y., He, J., Liu, T., Zhang, K., Huang, X., Kong, L., & Liu, J. (2018). EDTA-Fe(III) Fenton-like oxidation for the degradation of malachite green. *Journal of Environmental Management*, 226: 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.029>
- Klumpara, R., Ngamjarujana, A., & Boonyawan, D. (2023). Study of hydroxyl and nitrite radicals concentration in plasma-activated water by photoluminescence spectroscopy. *Journal of Physics: Conference Series*, 2653(1): 012010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2653/1/012010>
- Kumar, A., Škoro, N., Gernjak, W., Povrenović, D., & Puač, N. (2022). Direct and indirect treatment of organic dye (acid blue 25) solutions by using cold atmospheric plasma jet. *Frontiers in Physics*, 10: 835635. <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.835635>
- Kyere-Yeboah, K., Bique, I. K., & Qiao, X. (2023). Advances of non-thermal plasma discharge technology in degrading recalcitrant wastewater pollutants: A comprehensive review. *Chemosphere*, 320: 138061. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138061>
- Navaneetha Pandiyaraj, K., Vasu, d., Padmanabhan, P. V. A., Pichumani, M., Deshmukh, R. R., & Kandavelu, V. (2020). Evaluation of influence of cold atmospheric pressure argon plasma operating parameters on degradation of aqueous solution of Reactive Blue 198 (RB-198). *Plasma Science and Technology*, 22(5): 055504. <https://doi.org/10.1088/2058-6272/ab568d>
- Neira-Velázquez, M. G., Ku-Herrera, J. de J., Narro-Céspedes, R. I., Flores-Villaseñor, S. E., Cortez-Garza, Y. L., Cuellar-Gaona, C. G., & Soria-Arguello, G. (2024). Carbon nanostructures synthesis by catalyst-free atmospheric pressure plasma jet. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 57(31): 315302. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ad44a6>
- Okoniewska, E. (2021). Removal of selected dyes on activated carbons. *Sustainability*, 13(8): 4300. <https://doi.org/10.3390/su13084300>
- Porjai, P., Wattanawikkam, C., Bootchanont, A., Barnthip, N., Pavasupree, S., Jitjing, P., Boonyawan, D., & Kachayut, K. (2023). Discharge duty cycles effects of 20 kHz air atmospheric pressure plasma jet on methylene blue solution degradation. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 30(2): 239. <https://doi.org/10.55766/sujst-2023-02-e01585>
- Raji, A., Vasu, D., Navaneetha Pandiyaraj, K., Ghobeira, R., & Deshmukh, R. R. (2022). Degradation and detoxification of remazol blue contaminants as a model textile effluent via advanced nonthermal plasma oxidation processes. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 50(6): 1407–1415. <https://doi.org/10.1109/TPS.2022.3147544>



- Salazar, L. F. C., Delgado, V. J. C., Guía, T. E. F., & Argüello, G. S. (2024). Removal of dyes from water: Techniques and materials. *Sustainable Agriculture and Global Environmental Health* (pp: 93–130). Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781003504474-5>
- Saqib, S., Muneer, A., Munir, R., Sayed, M., Waqas, M., Aliyam, T., Younas, F., Farah, M. A., Elsadek, M. F., & Noreen, S. (2024). Green hybrid coagulants for water treatment: An innovative approach using alum and bentonite clay combined with eco-friendly plant materials for batch and column adsorption. *Environmental Research*, 259: 119569. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119569>
- Sarkar, S., Echeverría-Vega, A., Banerjee, A., & Bandopadhyay, R. (2021). Decolourisation and biodegradation of textile di-azo dye congo red by *Chryseobacterium geocarposphaerae* DD3. *Sustainability*, 13(19): 10850. <https://doi.org/10.3390/su131910850>
- Shindhal, T., Rakholiya, P., Varjani, S., Pandey, A., Ngo, H. H., Guo, W., Ng, H. Y., & Taherzadeh, M. J. (2021). A critical review on advances in the practices and perspectives for the treatment of dye industry wastewater. *Bioengineered*, 12(1): 70–87. <https://doi.org/10.1080/21655979.2020.1863034>
- Tkaczyk, A., Mitrowska, K., & Posyniak, A. (2020). Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. *Science of The Total Environment*, 717: 137222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137222>
- Wilayat, S., Fazil, P., Khan, J. A., Zada, A., Ali Shah, M. I., Al-Anazi, A., Shah, N. S., Han, C., & Ateeq, M. (2024). Degradation of malachite green by UV/H₂O₂ and UV/H₂O₂/Fe²⁺ processes: kinetics and mechanism. *Frontiers in Chemistry*, 12: 1467438. <https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1467438>
- Zhou, R., Zhang, T., Zhou, R., Mai-Prochnow, A., Ponraj, S. B., Fang, Z., Masood, H., Kananagh, J., McClure, D., Alam, D., Ostrikov, K. (Ken), & Cullen, P. J. (2021). Underwater microplasma bubbles for efficient and simultaneous degradation of mixed dye pollutants. *Science of The Total Environment*, 750: 142295. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142295>

MATERIALES ADSORBENTES DERIVADOS DEL CARBÓN PARA LA REMOCIÓN DE COLORANTES DE MEDIOS ACUOSOS

CARBON-DERIVED ADSORBENT MATERIALS FOR THE REMOVAL
OF DYES OF AQUEOUS MEDIA

DE LA PEÑA AGUIRRE, Daniel¹

MÚZQUIZ RAMOS, Elia Martha¹

COVARRUBIAS GORDILLO, Carlos
Andrés²

CRUZ ORTIZ, Brenda Rogelina¹

CANO SALAZAR, Lucía Fabiola¹

RESUMEN

La escasez de agua limpia es una problemática prioritaria, ya que los seres vivos no pueden subsistir sin ella. El agua se encuentra contaminada, principalmente, por metales pesados, compuestos inorgánicos y orgánicos, así como por colorantes, proviene en su mayoría de diversas industrias como lo son la textil, la alimenticia, entre otras. Existen diversas técnicas para remover estos contaminantes, entre ellas, el método de adsorción que, por ser flexible, de bajo costo y de fácil operación, destaca sobre las demás. Existen diversos materiales adsorbentes, no obstante, los materiales derivados del carbón tienen ciertas características idóneas para esta aplicación, como una amplia área superficial específica, distinto tamaño de poro, diversos grupos funcionales en el material, entre otros. El objetivo de esta revisión bibliográfica es presentar diferentes materiales adsorbentes derivados del carbón, obtenidos de diversas fuentes y con características fisicoquímicas distintas, utilizados en la remoción de colorantes, así como su capacidad de adsorción y las condiciones óptimas de trabajo.

Palabras clave: colorantes; carbón; adsorción; contaminación; agua.

ABSTRACT

The shortage of clean water is a priority problem since living beings cannot survive without it. The water is mainly contaminated by heavy metals, inorganic and organic compounds, and organic dyes from various industries, such as textiles and food. There are various techniques to remove these contaminants,

Correspondencia
emuzquiz@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-8626-678X>
Fecha de recepción
14 de noviembre de 2025.
Fecha de aceptación
14 de enero de 2026.

among them, the adsorption method, which, because it is flexible, low-cost, and easy to operate, stands out above the rest. There are various adsorbent materials; however, materials derived from carbon have certain characteristics ideal for this application, such as a large specific surface area, different pore sizes, various functional groups in the material, among others. The objective of this review is to show different adsorbent materials derived from carbon obtained from different sources and with various physicochemical characteristics, used in the removal of dyes, as well as their adsorption capacities and optimal working conditions.

Keywords: dyes; carbon; adsorption; pollution; water.

INTRODUCCIÓN

El medio ambiente está deteriorándose por los avances de la industria, la vida doméstica y la tecnología que carecen de compromiso y conciencia ambiental (Thara & Mathew, 2024). La contaminación del agua se ha convertido en un importante desafío impulsado principalmente por el uso generalizado de productos químicos en diversas industrias y prácticas agrícolas (Dwivedi y Pandey, 2024).

De entre las múltiples industrias, la industria textil es una de las más antiguas y populares, y junto con el uso excesivo de colorantes (actualmente, se utilizan más de 10.000 colorantes en todo el mundo), ha generado una problemática importante: el desecho de tintes en aguas residuales, contribuyendo significativamente a la contaminación del medio ambiente y efectos perjudiciales en la salud. Cuando estos químicos nocivos se acumulan en los cuerpos de agua, ponen en peligro los ecosistemas acuáticos (Fadhila y col., 2024). Al reducir la penetración de la luz, disminuye significativamente la actividad fotosintética de la vida acuática.

El proceso de adsorción con materiales derivados del carbón ha demostrado ser una alternativa viable para tratar la problemática, por su alto rendimiento, selectividad, flexibilidad y diseño simple de operación sin producir residuos peligrosos, esto gracias a la gran área superficial, diferente tamaño de poro, y grupos funcionales que presentan (Neolaka y col., 2021).

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

El agua es uno de los recursos naturales más importantes a los que los seres vivos tienen acceso. Esta proviene de una variedad de cuerpos de agua, como ríos, lagos, pozos y manantiales naturales. Lamentablemente, pueden contaminarse fácilmente con residuos procedentes de diversas fuentes de origen antropogénico. Algunos de estos problemas se deben a la falta de medidas de seguridad asociadas a la producción, uso y eliminación de muchos compuestos orgánicos e inorgánicos.

Las aguas residuales de diferentes industrias, como la de la fabricación de textiles, fibras y plásticos, la curtiduría, las baterías y la de pinturas, están altamente cargadas de pigmentos, colorantes y metales pesados. Estos contaminantes son bioacumulables y presentan una toxicidad grave en el medio ambiente, por lo que la descarga de estas aguas residuales sin ningún tratamiento causa graves daños a los recursos hídricos y acuáticos (Choudhary y col., 2020).

TIPOS DE CONTAMINANTES

Los iones de metales pesados, como contaminantes inorgánicos del agua, tienen un gran impacto y riesgo para la salud. Algunas de sus propiedades son la alta toxicidad y su capacidad de acumularse dentro de los tejidos de los organismos vivos, provocando la destrucción tanto de las células sanguíneas como las del sistema nervioso central (Abukhadra y col., 2020).

Por su parte, la amplia presencia de colorantes orgánicos en las aguas residuales de industrias como la textil, ~~la~~ del papel y de la moda causan contaminación ambiental. Los efluentes de colorantes contienen sustancias nocivas y compuestos cancerígenos que suponen graves riesgos para la salud (Lanjwani y col., 2024).

Hay muchos colorantes comerciales disponibles en el mercado global, que se pueden clasificar según su estructura química, como colorantes aniónicos o catiónicos, y también según el método de aplicación al que están sujetos en la industria (Esteban y col., 2018). Los colorantes son compuestos que se utilizan para impartir color a diferentes sustancias o materiales. Estos son utilizados en diversos procesos a través de industrias como la automotriz, farmacéutica, plástica, imprenta, curtiduría de cuero y textil, entre otras. En promedio, en una fábrica de teñido y acabado se consumen cien litros de



agua por cada tonelada de tela procesada (Carvallho y col., 2016). A continuación, en la Figura 1, se muestran las estructuras químicas de distintos colorantes.

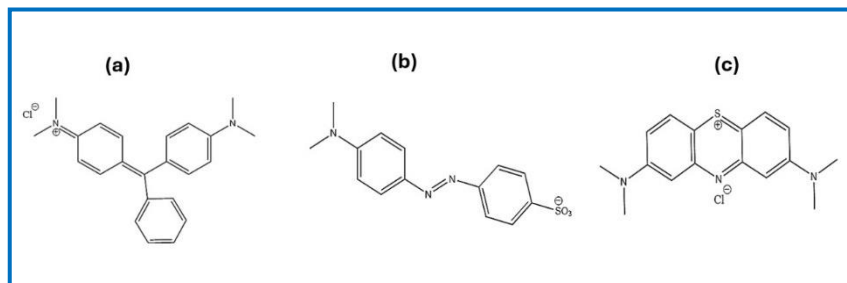


Figura 1. Estructuras de los colorantes (a): Verde Malaquita, (b): Naranja de Metilo, (c): Azul de Metileno (elaboración propia).

MÉTODOS DE ELIMINACIÓN

Actualmente, una serie de tecnologías que incluyen, filtración por membrana, electrocoagulación, intercambio iónico, oxidación avanzada y adsorción, se encuentran en uso para tratar aguas residuales cargadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Choudhary y col., 2020).

La técnica en la que se basa esta revisión es la adsorción, ya que es un método que no requiere muchos pasos y el costo de operación es bajo. La adsorción es la atracción y/o unión en la superficie del adsorbente, la absorción es el proceso por el cual el soluto pasa a través de una membrana o es absorbido en una estructura (Musah y col., 2022).

Las interacciones que se tienen en la adsorción son dos: química y física. Si la adsorción se lleva a cabo de forma física, es por medio de fuerzas electrostáticas o de van der Waals; por el contrario, si se lleva a cabo de forma química, se forman enlaces covalentes entre el adsorbente y el adsorbato.

MATERIALES ADSORBENTES

La fuente de materiales adsorbentes puede variar de materiales naturales a materiales sintéticos; pueden ser crudos, física y/o químicamente modificados, estructuras y materiales compuestos. Algunos de los materiales que se utilizan con frecuencia son los materiales silíceos, arcillosos (caolinita, bentonita, zeolitas), biomasa/biocarbón, estructuras organometálicas (MOF), polímeros (biopolímeros, fibras sintéticas, geopolímeros, hidrogeles, aerogeles), carbón activado, nanomateriales de carbono (nanotubos, nanofibras, grafeno), entre

otros (Pellenz y col., 2023), Un buen adsorbente debe tener alta área superficial, porosidad accesible, afinidad y selectividad por el contaminante, estabilidad físico-química, capacidad de regeneración, buena conductividad térmica para manejar el calor del proceso, bajo costo y no tóxico.

MATERIALES ADSORBENTES DERIVADOS DEL CARBÓN

El carbón se ha utilizado desde hace tiempo para eliminar contaminantes del agua. Uno de los principales derivados de este material es el carbón activado, proveniente de un sinfín de materias primas como la madera, las cáscaras de frutos, brotes de bambú, entre otras (Li y col., 2022). No obstante, se ha identificado el reciente uso y desarrollo de alótropos de carbono (formas puras del mismo elemento que difieren en la estructura) como materiales adsorbentes; entre ellos se encuentran el grafito, los fullerenos, los nanotubos de carbono, el grafeno, el óxido de grafeno y las nanoplaquetas de grafeno, que difieren en geometría: esféricas, fibrilares y laminares. Dichas diferencias, les proporcionan propiedades únicas y diferentes, entre las que destacan su alta resistencia mecánica, conductividad térmica y eléctrica, elevada área superficial, actividad antimicrobiana, entre otras. A continuación, se detallan brevemente los alótropos utilizados/estudiados con más frecuencia para la adsorción de contaminantes en agua:

- El grafeno (G) es un material biocompatible, no tóxico, constituido por una hoja de un solo átomo de carbono de espesor. Está constituido por átomos de carbono unidos por enlaces sp^2 , que forman una red cristalina hexagonal (Reina y col., 2017). Su gran área superficial específica de $\sim 2630 \text{ m}^2/\text{g}$, lo hace un material idóneo para la adsorción de metales o colorantes catiónicos (D. Zhang y col., 2018).
- El óxido de grafeno es un derivado del grafeno producido por oxidación térmica y exfoliación del grafito (He Kai y col., 2018). Este material está constituido por una monocapa de carbono con un alto contenido de oxígeno en forma de grupos funcionales activos caracterizados por sus enlaces C-O. Algunos de los grupos funcionales son hidroxilo (-OH); éteres (-O-); ácidos carboxílicos (-COOH); dióles, etc. (Eltaweil et al., 2020).
- Las nanoplaquetas de grafeno son un material con una estructura tridimensional de carbono con múltiples capas de grafeno apiladas, con un espesor inferior a 100 nm, la gran disponibilidad de sitios de defectos (-grupos funcionales), flexibilidad, tamaño de poro, resistencia mecánica y conductividad lo hacen un material con

propiedades de adsorción ideal para la remoción de colorantes orgánicos catiónicos.

MATERIALES DERIVADOS DEL CARBÓN PARA LA REMOCIÓN DE COLORANTES

En 2020 Choudhary y col. reporta el uso de biocarbón proveniente de *opuntia ficus-indica*, así como este mismo activado con hidróxido de sodio (NaOH) para la adsorción del colorante verde malaquita y otros metales. Los autores reportaron una capacidad de adsorción de 49 mg/g de Cu^{+2} y de 1341 mg/g para el colorante verde malaquita a una temperatura de 30°C (Choudhary y col., 2020).

Qu y col. en 2019 hicieron un estudio de propiedades de adsorción de verde malaquita con carbón activado. Los autores concluyeron que se pueden adsorber hasta 91 mg/g con las siguientes condiciones T de 45 °C, un pH cercano a 7 y tiempo de 24 h (Qu y col., 2019).

En 2019 Zhang y colaboradores. Reportan el uso de una espuma de carbono cargada con óxido de magnesio para remover verde malaquita, obteniendo que este material puede adsorber hasta el 85% de este contaminante con las siguientes condiciones: temperatura de 20 °C, un pH cercanos a 6 y con una capacidad máxima de adsorción de 1874 mg/g (Chen y col., 2019).

Rabita Mohd Firdaus y colaboradores en 2019 reportan que el uso de nanoplaquetas de grafeno modificadas, es un material viable para la remoción de azul de metileno a una temperatura de 60 °C con un pH de 3.5 y un tiempo de contacto de 45 minutos, logrando remover hasta un 88% del colorante (Firdaus y col., 2019).

En 2018 Adisak Siyasukh y colaboradores reportan el uso de esferas de carbono porosa jerárquica magnética para la eliminación del colorante naranja de metilo con una eficiencia del 95% de eliminación a 30 °C y un tiempo de contacto de 48 h (Adisak Siyasukh y col., 2018).

Ye Xiao y Hill, en 2017, reportan el uso de carbón mesoporoso con óxido de hierro (Fe_2O_3) para la sustracción de metilo de naranja, con una eficiencia del 80%. Las condiciones experimentales fueron de 25 °C, un pH 3 y 30 min de contacto (Xiao & Hill, 2017).

En la Tabla 1, se muestran diferentes trabajos con materiales derivados del carbón, además de las condiciones óptimas de temperatura, pH, y tiempo de contacto, así como la capacidad de adsorción en el equilibrio y máxima de los distintos materiales con los colorantes.

Tabla 1. Ejemplos de distintos materiales adsorbentes

Material adsorbente	Condiciones de operación T (°C) pH Tc (min)	Adsorción en el equilibrio (mg/g)	Cap. máx. de adsorción (mg/g)	Colorante	Referencia
Óxido de grafeno reducido	- 6 600	190	476	VM	(Gupta & Khatri, 2017)
Nanocompositos de polihidroqui-nona y grafeno	- - 57	688	948	VM	(Mkrtychyan y col., 2019)
Espuma de car-bono con MgO	20 6 -	1874	2301	VM	(Zhang y col., 2017)
Carbón activado	45 7 1440	91	-	VM	(Qu y col., 2019)
Biocarbón activado	30 6 -	49	1341	VM	(Choudhary y col., 2020)
Nanoplaquetas de grafeno modificadas	60 3.5 55	155	-	AM	(Firdaus y col., 2019)
Esfera de carbono porosa jerárquica magnética	30 - 2880	16	1523	NM	(Siyasukh y col., 2018)
Carbón mesoporoso con Fe ₂ O ₃	25 3 30	362	-	NM	(Xiao & Hill, 2017)
Nanoplaquetas de grafeno	40 7 600	540	1000	VM	(de la Peña-Aguirre y col., 2025)

Tc: Tiempo de contacto, VM: Verde Malaquita, AM: Azul de Metileno, NM: Naranja de Metilo

Como se observa en la Tabla 1, el mejor material derivado del carbono para la eliminación de colorante VM es una espuma de carbono con MgO eliminando más de 1.8 g del contaminante con una temperatura ambiente a comparación de otros donde es necesario aumentar la temperatura, o modificando el pH.

CONCLUSIONES

La adsorción es un proceso prometedor para la remoción de colorantes provenientes de diversas industrias, ya que es una técnica amigable, económica y de fácil operación. Dentro de los diversos materiales que se han

utilizado para la adsorción de colorantes, se ha demostrado por medio de la literatura que, los materiales a base de carbono por sus excelentes características fisicoquímicas son prospectos interesantes y viables para la eliminación de colorantes del agua.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Maestría en Ciencia y Tecnología de los Materiales de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila por proporcionar un entorno académico que fomenta el aprendizaje y la investigación. Daniel de la Peña Aguirre agradece a la SECIHTI por la beca otorgada para sus estudios del posgrado. Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Coahuila por el apoyo financiero otorgado a través del proyecto DIP-UADEC C01-2024-9.

REFERENCIAS

- Abukhadra, M. R., Adlii, A., El-Sherbeeney, A. M., Ahmed Soliman, A. T., & Abd Elgawad, A. E. (2020). Promoting the decontamination of different types of water pollutants (Cd²⁺, safranin dye, and phosphate) using a novel structure of exfoliated bentonite admixed with cellulose nanofiber. *Journal of Environmental Management*, 273: 111130. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111130>
- Carvallho, M. N., Da Silva, K. S., Sales, D. C. S., Freire, E. M. P. L., Sobrinho, M. A. M., & Ghislandi, M. G. (2016). Dye removal from textile industrial effluents by adsorption on exfoliated graphite nanoplatelets: Kinetic and equilibrium studies. *Water Science and Technology*, 73(9): 2189–2198. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.073>
- Chen, Y., Jing, C., Zhang, X., Jiang, D., Liu, X., Dong, B., Feng, L., Li, S., & Zhang, Y. (2019). Acid-salt treated CoAl layered double hydroxide nanosheets with enhanced adsorption capacity of methyl orange dye. *Journal of Colloid and Interface Science*, 548: 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.03.107>
- Choudhary, M., Kumar, R., & Neogi, S. (2020). Activated biochar derived from *Opuntia ficus-indica* for the efficient adsorption of malachite green dye, Cu⁺² and Ni⁺² from water. *Journal of Hazardous Materials*, 392: 122441. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122441>
- de la Peña-Aguirre, D., Cano-Salazar, L. F., Covarrubias-Gordillo, C. A., Flores-Guía, T. E., Claudio-Rizo, J. A., Cabrera-Munguía, D. A., Ávila-Orta, C. A., & Cruz-Delgado, V. J. (2025). Kinetic and Thermodynamic Study of the Adsorption of Malachite Green Dye



Using Graphene Nanoplatelets. *Green Energy and Environmental Technology*, 4: 5772. <https://doi.org/10.5772/geet.20250022>

Dwivedi, S., Pandey, G. (2024). Modulation of Photoactive Nanocomposite Cu Doped SnO₂ Anchored on G-C₃N₄ Polymeric Sheets by Green Synthesis and Degradation of Dye Malachite Green Modulation of Photoactive. *Article in International Journal on Engineering Science and Technology*, 6 (1): 18-39. <https://doi.org/10.46328/ijonest.201>

Eltaweil, A. S., Elgarhy, G. S., El-Subruiti, G. M., & Omer, A. M. (2020). Carboxymethyl cellulose/carboxylated graphene oxide composite microbeads for efficient adsorption of cationic methylene blue dye. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154: 307–318. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.122>

Fadhila, F. R., Umar, A., Chandren, S., Apriandanu, D. O. B., & Yulizar, Y. (2024). Biosynthesis of CoCr₂O₄/ZnO nanocomposites using Basella alba L. leaves extracts with enhanced photocatalytic degradation of malachite green in aqueous media. *Chemosphere*, 352: 141215. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141215>

Firdaus, R. M., Rosli, N. I. M., Ghanbaja, J., Vigolo, B., & Mohamed, A. R. (2019). Enhanced adsorption of methylene blue on chemically modified graphene nanoplatelets thanks to favorable interactions. *Journal of Nanoparticle Research*, 21(12): 257. <https://doi.org/10.1007/s11051-019-4701-4>

Gupta, K., & Khatri, O. P. (2017). Reduced graphene oxide as an effective adsorbent for removal of malachite green dye: Plausible adsorption pathways. *Journal of Colloid and Interface Science*, 501: 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.04.035>

Lanjwani, M. F., Tuzen, M., Khuhawar, M. Y., & Saleh, T. A. (2024). Trends in photocatalytic degradation of organic dye pollutants using nanoparticles: A review. In *Inorganic Chemistry Communications* (Vol. 159). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111613>

Li, Z., Luo, X., & Li, Y. (2022). Reed Rhizome Residue-Based Activated Carbon Adsorption Ultrafiltration Membranes for Enhanced MB Removal. *ACS Omega*, 7(48): 43829–43838. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04968>

Mkrtchyan, E., Burakov, A., & Burakova, I. (2019). The Adsorption of Malachite Green on Graphene Nanocomposites: A Study on Kinetics Under Dynamic Conditions. In *Materials Today: Proceedings* (Vol. 11). www.sciencedirect.com/www.materialstoday.com/proceedings2214-7853

Musah, M., Azeh, Y., Mathew, J., Umar, M., Abdulhamid, Z., & Muhammad, A. (2022). Adsorption Kinetics and Isotherm Models: A Review. *Caliphate Journal of Science and Technology*, 4(1): 20–26. <https://doi.org/10.4314/cajost.v4i1.3>

Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J., Riwu, A. A. P., Darmokoesoemo, H., Widyaningrum, B. A., Iqbal, M., & Kusuma, H. S. (2021). Indonesian Kesambi wood (*Schleichera oleosa*) activated with pyrolysis and H₂SO₄ combination methods to produce mesoporous



activated carbon for Pb(II) adsorption from aqueous solution. *Environmental Technology and Innovation*, 24: 101997. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101997>

Pellenz, L., de Oliveira, C. R. S., da Silva Júnior, A. H., da Silva, L. J. S., da Silva, L., Ulson de Souza, A. A., de Souza, S. M. de A. G. U., Borba, F. H., & da Silva, A. (2023). A comprehensive guide for characterization of adsorbent materials. In *Separation and Purification Technology* (Vol. 305). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122435>

Qu, W., Yuan, T., Yin, G., Xu, S., Zhang, Q., & Su, H. (2019). Effect of properties of activated carbon on malachite green adsorption. *Fuel*, 249: 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.058>

Reina, G., González-Domínguez, J. M., Criado, A., Vázquez, E., Bianco, A., & Prato, M. (2017). Promises, facts and challenges for graphene in biomedical applications. *Chemical Society Reviews*, 46(15): 4400–4416. <https://doi.org/10.1039/c7cs00363c>

Siyasukh, A., Chimupala, Y., & Tonanon, N. (2018). Preparation of magnetic hierarchical porous carbon spheres with graphitic features for high methyl orange adsorption capacity. *Carbon*, 134: 207–221. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.03.093>

Thara, C. R., & Mathew, B. (2024). Microwave synthesized N-doped carbon dots for dual mode detection of Hg(II) ion and degradation of malachite green dye. *Talanta*, 268: 125278. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2023.125278>

Xiao, Y., & Hill, J. M. (2017). Impact of Pore Size on Fenton Oxidation of Methyl Orange Adsorbed on Magnetic Carbon Materials: Trade-Off between Capacity and Regenerability. *Environmental Science and Technology*, 51(8): 4567–4575. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00089>

Zhang, D., Wu, X., Chen, J., & Lin, K. (2018). The development of collagen based composite scaffolds for bone regeneration. *Bioactive Materials*, 3(1): 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2017.08.004>

Zhang, L., Zhang, Y., Cheng, J., Wang, L., Wang, X., Zhang, M., Gao, Y., Hu, J., Zhang, X., Lü, J., Li, G., Tai, R., & Fang, H. (2017). Inert Gas Deactivates Protein Activity by Aggregation. *Scientific Reports*, 7(1): 10176. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10678-3>

LA ESCUELA CORRECCIONAL DE ARTES Y OFICIOS DE SALTILLO, COAHUILA

UN VISTAZO A UNA INSTITUCIÓN PREOCUPADA POR LA INFANCIA Y LA JUVENTUD VULNERABLE (1896 A 1917)

THE CORRECTIONAL SCHOOL OF ARTS AND CRAFTS OF SALTILLO, COAHUILA

*A LOOK AT AN INSTITUTION CONCERNED WITH VULNERABLE CHILDREN
AND YOUTH (1896 TO 1917)*

GARCÍA BALDERAS, Andrea
Guadalupe¹

FLORES FLORES, Graciela²

RESUMEN

El presente artículo de investigación constituye una aproximación a una institución de control social en Saltillo: la Escuela Correccional de Artes y Oficios, que comenzó a funcionar en 1896. A través de sus reglamentos y algunos otros documentos administrativos, se ofrece una aproximación a sus orígenes, el pensamiento que lo impulsó, al personal y el perfil de sus alumnos; se analizarán las causales de su ingreso, los motivos de los padres o tutores para encauzar a sus hijos a la escuela correccional. A través de la documentación del Archivo Municipal de Saltillo, se ha logrado ofrecer datos relevantes para su estudio hasta la segunda década del siglo XX. La Escuela Correccional de Artes y Oficios es una institución de su época, debido a que la justificación para crearla y los objetivos que perseguía con los niños y jóvenes saltillenses responden a la ideología porfirista relacionada con el progreso, el trabajo, el control, el orden y la moralidad.

Palabras clave: escuela correccional; Saltillo; reglamento; jóvenes; niños.

ABSTRACT

This research article is an approach to an institution of social control in Saltillo: the correctional school of arts and crafts that began operating in 1896. Through its regulations and some other administrative documents, it offers an approach to its origins, the thinking that drove it, the staff and the profile of its

1. Facultad de Ciencias Sociales,
Universidad Autónoma de
Coahuila, Saltillo, Coahuila,
México.

2. Facultad de Ciencia, Educación
y Humanidades, Universidad
Autónoma de Coahuila, Saltillo,
Coahuila, México.

Correspondencia
balderas.andrea@uadec.edu.mx
Fecha de recepción
2 de diciembre de 2025.
Fecha de aceptación
26 de enero de 2026.

students: it will analyze the causes of their entry, the motives of parents or guardians to channel their children to correctional school. Through the documentation of the municipal archive of Saltillo, has been able to offer relevant data for study until the second decade of the twentieth century. The correctional school of arts and crafts is an institution of its time, because the justification for its creation and the objectives it pursued with the children and young saltillenses respond to the porphyrista ideology related to progress, work, control, order and morality.

Keywords: *correctional school; Saltillo; rules of procedure; youths; children.*

INTRODUCCIÓN

La Escuela Correccional de Artes y Oficios que surgió en Saltillo durante la última década del siglo XIX, fue una institución que buscó encarar problemas concretos, como la preocupante desocupación juvenil e infantil, lo cual no era un hecho menor, pues se reconocía que mal atendida podía generar delincuentes: indeseables sociales.

El proyecto de la Escuela Correccional de la capital coahuilense surgió durante el período porfiriano, una época caracterizada, entre otras cosas, por impulsar el desarrollo económico y social de México; industrializar y modernizar al país fue el proyecto rector, por lo que el control social se convirtió en un mecanismo importante que se expresó en escuelas, hospitales, penitenciarías, no de balde el lema del gobierno porfirista, de raigambre comtiano fue "Orden y Progreso".

El proyecto porfiriano buscó normar la conducta para apoyar el avance del país y volverlo próspero. En ese sentido la niñez y la juventud recibieron especial cuidado, pero sobre todo aquellos que se encontraban en una situación de desventaja social: pobres y marginados se consideraron sujetos idóneos para corregirlos o apartarlos del crimen y de ser el caso, inculcarles los valores que se deseaban para la sociedad y los individuos que la conformaran: se ensalzó el trabajo como medio para combatir el ocio; se buscaban hombres y mujeres sin vicios (se condenaba la embriaguez, por ejemplo), con formación al menos de primeras letras e higiénicos.

La escuela correccional, fue una institución educativa cuya finalidad era regenerar y reeducar a los niños y jóvenes que habían cometido delitos leves



a causa de la pobreza, la orfandad, el abandono y la ausencia de valores morales. Una “escuela correccional de artes y oficios”, incluyó, además, la enseñanza de un arte u oficio que permitiera, a los jóvenes, sobrevivir de manera honrada después de cumplir con los requisitos escolares (Pérez, 2023). Las escuelas correccionales a diferencia de las escuelas de artes y oficios tenían un carácter militar, se les formaba a los alumnos en este aspecto además de la enseñanza de un arte u oficio. Los alumnos podían ser llevados a la escuela correccional por orden del juez cuando se cometían delitos menores o por decisión de los tutores, porque no contaban con los medios para mantenerlos.

Ambos modelos fueron escuelas avocadas a lo que se consideraba como la “infancia anormal”, categoría que englobaba a sujetos específicos, como menores huérfanos, indigentes, abandonados, mendigos, ciegos, sordomudos y pequeños criminales. Para el prominente hombre de letras y preocupado por la educación en México, Luis Gonzaga Urbina, la infancia anormal era el resultado de las condiciones y el estilo de vida de las clases populares mexicanas. La infancia anormal “había nacido y crecido en vecindades miserables, en hogares donde el vicio y la ignorancia prevalecía, en medio de relaciones familiares marcadas por amores primitivos, rudos y brutales, contaminados por un anhelo selvático de destrucción y aniquilamiento” (Padilla, 1998).

Los niños y jóvenes en situación de calle provenían de familias desorganizadas, aquellas donde se presentaba el alcoholismo, la existencia de un padrastro o madrastra, la separación de los padres, la falta de interés por la crianza de los hijos o el trabajo, la pobreza y la miseria (Santiago, 2014).

En ese contexto, la moral, como concepto, cobró especial interés entre las instituciones de gobierno y la iglesia católica, sin embargo, ambas condenaban una serie de vicios y “malas costumbres” que imperaban en la sociedad mexicana, tales como la embriaguez, el juego, la mendicidad, la falta de higiene, la indigencia, la ignorancia, la inmoralidad y la prostitución que afectaban el proyecto modernizador, el progreso y el proyecto de crear al nuevo mexicano (Briseño, 2005).

La existencia de la Escuela Correccional de Artes y Oficios de Saltillo no es un caso aislado, excepcional ni marginal, sino que es la expresión de preocupaciones sociales en torno a la infancia y su futuro, tal como lo revelan

los estudios para el caso de Jalisco en el siglo XIX (González, 2012) y Oaxaca (Bailón, 2012).

La Escuela Correccional de Artes y Oficio de Saltillo se creó en 1896 y dejó de funcionar hasta 1917, sobre tal institución, hay que decirlo, no existen tantos documentos como se quisiera, pero los pocos que hay, permiten lograr una buena aproximación a su funcionamiento interno a través de sus reglamentos, pero también a las motivaciones que padres o tutores esgrimieron para enviar a sus hijos o tutorados a una escuela de ese tipo, todos ellos, documentos recuperados del Archivo Municipal de Saltillo, fondos Presidencia Municipal y en menor medida del de Actas de Cabildo, entre los que se encuentran las notificaciones que enviaba la Escuela Correccional al presidente municipal y viceversa. A través de dichos documentos será posible conocer parte del funcionamiento de la Escuela, el perfil de los alumnos y las expectativas que socialmente se tejieron para esa interesante y poco conocida institución educativa de Saltillo.

1. REGENERAR ANTES DE CASTIGAR: INFANCIAS, JUVENTUD Y CORRECCIÓN EN LA MODERNIDAD LIBERAL

Desde finales del siglo XVIII y, con mayor énfasis a lo largo del siglo XIX, en Europa se consolidó una creciente preocupación por las infancias y juventudes consideradas “problemáticas”, particularmente aquellas asociadas a la pobreza, la vagancia y la delincuencia incipiente. Esta inquietud partía de la idea de que los niños y jóvenes constituían un grupo social maleable, susceptible de corrección y regeneración moral. Bajo esta lógica, se extendió la noción de que la intervención temprana podía evitar la formación de criminales profesionales y contribuir al orden social.

En el ámbito jurídico, esta concepción se tradujo en legislaciones que distinguieron progresivamente entre la responsabilidad penal de los adultos y la de los menores. En el caso mexicano, el Código Penal Federal de 1871 estableció, en su artículo 34, capítulo segundo, una diferenciación clara en función de la edad: eximía la responsabilidad criminal a los menores de nueve años y se contemplaba la posibilidad de excluir de responsabilidad a aquellos mayores de nueve y menores de catorce años que demostraran no comprender la ilicitud de sus actos (Código penal, 1871). Esta definición legal



resulta particularmente significativa, pues coincide con el rango de edad de ingreso de los alumnos de la Escuela Correccional de Artes y Oficios de Saltillo, situada entre los ocho y los catorce años, y evidencia que la institución se inscribía dentro de un proyecto más amplio de regeneración social de la infancia.

En Europa, especialmente en España, estas preocupaciones dieron lugar a reformas de corte correccionalista y positivista hacia finales del siglo XIX y principios del XX. Como ha señalado Carlos Vázquez, la Ley de Bases sentó las bases para generalizar la atención diferenciada a los jóvenes delincuentes, quienes, hasta entonces, en la mayoría de las provincias, eran reclusos junto con adultos, sin recibir instrucción ni capacitación laboral (Vázquez, 2004). La influencia de pensadores como Concepción Arenal y Dorado Montero impulsó la creación de un sistema tutelar y protector de menores, orientado no solo al castigo, sino a la corrección y la enmienda moral mediante la educación y el trabajo (Vázquez, 2004).

Estas ideas no se limitaron al contexto europeo, sino que circularon ampliamente en el mundo atlántico y tuvieron especial resonancia en América Latina, donde los procesos de construcción estatal y modernización social incorporaron discursos sobre la infancia pobre y peligrosa como un problema de orden público (Sosenski, 2012). En diversos países latinoamericanos, la niñez vagabunda, mendiga o infractora fue concebida como una amenaza latente al progreso y la estabilidad social, lo que justificó la creación de instituciones correccionales, asilos, casas de trabajo y escuelas de artes y oficios, destinadas a disciplinar cuerpos y conductas desde edades tempranas.

En México, los antecedentes de las Escuela de Artes y Oficios pueden rastrearse en el pensamiento ilustrado español desde finales del siglo XVIII, particularmente en autores como Gaspar Melchor de Jovellanos y Pedro Rodríguez Campomanes, quienes defendieron la enseñanza de las artes y oficios como un medio para transformar a los indigentes en sujetos útiles y productivos (González, 2012). Estas ideas se materializaron en instituciones como las Escuelas Patrióticas, orientadas inicialmente a la enseñanza de la hilandería y los tejidos, bajo la premisa de que el aprendizaje técnico fomentaba la disciplina, el trabajo y la autonomía económica y un “efecto de libertad” (Calvillo y Ramírez, et. Al., 2011).

Durante el periodo virreinal tardío y, con mayor fuerza, en el México independiente, la instrucción popular comenzó a ser concebida como una

herramienta clave para el desarrollo económico y la cohesión social. Intelectuales y políticos como Lucas Alamán, Esteban de Antuñano, José María Luis Mora y Lorenzo de Zavala coincidieron en otorgar a la educación del artesano un papel central, aunque desde perspectivas distintas: mientras Alamán la vinculaba con la formación de mano de obra industrial, Mora la entendía como un medio para formar ciudadanos capaces de participar en la vida pública, y Antuñano, la veía como una estrategia para combatir la ignorancia y la pobreza, consideradas fuentes de los males nacionales (González, 2012).

Fue durante el porfiriato cuando las escuelas de artes y oficios alcanzaron su mayor expansión, en consonancia con un proyecto estatal que asociaba orden, progreso y modernización. A principios del siglo XX existían ya planteles de este tipo en diversas ciudades del país (Chihuahua, Distrito Federal, Oaxaca, Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz y Yucatán, entre otras), y su proliferación respondió tanto a la necesidad de formar técnicos como a la de atender sectores juveniles considerados socialmente problemáticos. En este contexto, la creación de la Escuela Correccional de Artes y Oficios de Saltillo en 1896 debe entenderse como parte de un entramado más amplio de discursos, prácticas e instituciones orientadas a la corrección, disciplina y regeneración de los niños y jóvenes pobres, vagos o mendigos, considerados susceptibles de ser reconducidos hacia una vida productiva mediante el trabajo y la educación.

En el ámbito local, estas preocupaciones también se hicieron presentes en la ciudad de Saltillo hacia finales del siglo XIX. La creciente visibilidad de niños y jóvenes en situación de pobreza, dedicados a la mendicidad, la vagancia o a pequeños delitos, comenzó a ser percibida por las autoridades municipales como un problema de orden social y moral.

Estas infancias y juventudes, lejos de ser concebidas únicamente como sujetos de protección, fueron asociales con la ociosidad, la indisciplina y el riesgo de una futura criminalidad adulta. Antes de la creación de la Escuela Correccional de Artes y Oficios en 1896, la ciudad carecía de una institución especializada destinada a la atención y corrección de estos menores, por lo que su destino solía ser la cárcel, el encierro compartido con adultos, hospicios, el trabajo en presidios u obras públicas, o bien la permanencia en las calles bajo vigilancia intermitente de la autoridad municipal. En este contexto, la fundación de la Escuela Correccional de Artes y Oficios de Saltillo, respondió a la necesidad de ofrecer una alternativa institucional que



combinara castigo, disciplina, educación, orientada a la regeneración social de niños y jóvenes considerados como problemáticos, mediante la enseñanza de un oficio y la inculcación de hábitos de trabajo y obediencia.

2.FUNDACIÓN Y OBJETIVO DE LA ESCUELA CORRECCIONAL DE SALTILLO

El 9 de abril de 1896 el presidente municipal de Saltillo dirigió a los concejales una petición fundada en una serie de preocupaciones de índole social y moral, a la sazón argumentaba las razones para establecer una escuela correccional de artes y oficios en los siguientes términos:

Notando esta presidencia un aumento de jóvenes que pululan por las calles sin oficio ni ocupación, ya sea porque no se les da trabajo por desconocidos, ya porque los padres no tienen modo de sostener la educación de sus hijos, y aquellos se encuentran en igual condición que estos últimos; porque si apenas residen en esta población, es para esparcirse por las calles cometiendo pequeños robos; para vivir de ellos, en lugar de someterse al trabajo que les proporcionaría un sustento honrado. Por otra parte, lo más lamentable en ellos es que su inteligencia se encuentra en el más absoluto abandono y degeneradas sus facultades, tiene que venir la perversión física y moral y después será inútil todo esfuerzo que cualquier Gobierno emprenda para su regeneración, ¿cuál será la suerte que les espera a estos pequeños seres, parte activa e integrante del porvenir de los pueblos? (AMS, 1896a)

Detrás de la propuesta había una genuina preocupación: prevenir que los niños y jóvenes pisaran la penitenciaría, pero además con la certeza de que “con pocos elementos pueden ser regenerados”; (AMS, 1896) la facilidad radicaba en que “antes que presidios o cárceles, se abran talleres y escuelas correccionales que crean el amor al trabajo, y esto será suficiente para disminuir la criminalidad en todos sentidos” (AMS,1896). El Ayuntamiento, según palabras de su presidente, tenía el deber de “corregir el mal moral que amenaza a esa parte del pueblo, a esa pequeña juventud que apenas tiene convicción de lo que hace y ya se inicia en la prostitución” (AMS, 1896).

La apología de la juventud en condiciones vulnerables recibió el visto bueno a los pocos días, aprobándose por los miembros del ayuntamiento la creación de la Escuela, remitiéndose de inmediato al Gobernador interino Miguel



Cárdenas, quien el 10 de abril mandó otorgar al proyecto la cantidad de \$250.00 para los gastos de instalación de la Escuela Correccional, comprometiéndose a pagar la renta del local provisional; el día 23 de abril el gobernador ratificó lo solicitado por el alcalde. Pocos días después, el 5 de mayo de 1896 se inauguró solemnemente la Escuela Correccional de Artes y Oficios, aunque comenzó a operar sin reglamento, 3 meses después, se emite el primero de ellos, el 22 de agosto.

La Escuela Correccional de Artes y Oficios comenzó a funcionar y puso a disposición varios talleres: imprenta, zapatería, carpintería, hojalatería, herrería y sastrería, además de contar con un profesor de instrucción primaria. A la cabeza de establecimiento quedó el señor Sabás Gutiérrez (AMS, 1896). El sueldo o gratificación más alta sería para este último, con 30 pesos mensuales, el subprefecto y guarda almacén, 20 pesos, mientras que cada maestro de taller recibiría 15 pesos de un total de 150 autorizados por el Ayuntamiento.

3. EL FUNCIONAMIENTO DE LA ESCUELA CORRECCIONAL SEGÚN LOS REGLAMENTOS DE 1896 Y 1900

El 22 de agosto de 1896, se expide el primer reglamento de la Escuela Correccional de Artes y Oficios de Saltillo, firmado por el presidente municipal Juan Cabello Siller y el director de la Escuela, el señor Sabás Gutiérrez. El reglamento, en términos generales, expresa las obligaciones de los alumnos y del personal de la escuela y, además, nos proporciona elementos que nos permiten conocer la organización, distribución y la administración del establecimiento (AMS, 1896).

El reglamento de 1896 era pequeño, estaba dividido únicamente en dos capítulos: Capítulo I. De los alumnos. Distribución de tiempo, integrado por trece numerales romanos; Capítulo II. Del prefecto y maestros de taller, constituido igualmente por trece numerales romanos, el numeral XIII se subdividió en cuatro numerales con las obligaciones del director de la imprenta; a su vez dicho capítulo se subdividió en tres más, Del subprefecto, integrado por seis numerales romanos; De los obreros en general, por tres numerales romanos y De la servidumbre y portero, por un numeral romano.



Según el reglamento de 1896 las actividades comenzarían desde las 5:30 de la mañana hasta las 8 de la noche. En lo que se refiere al comportamiento que se esperaba de los alumnos, estos deberían guardar “la mayor compostura” en todo momento; si llegaban a faltar al reglamento o a sus superiores serían castigados “conforme a los mismos reglamentos”, aunque no se especificaron las sanciones en este reglamento, es de suponerse que quedaban a discreción de las autoridades. Las actividades diarias tenían que cumplirse como estaba establecido, a menos que el alumno tuviera que realizar el aseo de los patios, corredores, salones de cátedra y otros departamentos de la escuela (AMS, 1896).

Por su parte, el reglamento aprobado en 1900 (el proyecto es de noviembre de 1899), es mucho más extenso, quedó integrado por 72 artículos, distribuidos en 18 capítulos: Objeto del establecimiento, De la organización de la escuela y su personal, Del director, Del prefecto, El guarda almacén, Del subprefecto e instructor militar, De los maestros de taller, Del profesor de instrucción primaria. Director de academia de música, De la enseñanza de instrucción primaria, Artes y Oficios, De los sirvientes, Del médico cirujano, De los alumnos y sus obligaciones, Del vigilante, Premios y castigos, Amonestaciones y correcciones a los empleados del establecimiento, De la distribución del tiempo, De la manera como debe cubrirse el servicio y Disposiciones generales.

La distribución del tiempo entre semana, según el reglamento de 1900, contemplaba actividades desde las 4:30 de la mañana hasta las 9 de la noche (AMS, 1900) un horario de actividades más extenso que el de 1896.

Sobre los ratos “libres”, es importante señalar la diferencia que existe entre el primer y segundo reglamento, en el de 1896 no se marcan los descansos tan puntualmente, tal vez porque el momento de ocio de los alumnos no era considerado importante para incluirlo dentro del horario oficial. Lo que hace aún más estricto el reglamento de 1900, porque hasta los momentos “libres” de los alumnos eran controlados y medidos por sus superiores. Al respecto del control general de los tiempos dentro de ese tipo de instituciones totales, caracterizadas por ser lugares de residencia y trabajo aisladas del resto de la sociedad, como las llamó Ervin Goffman (2001) conviene evocar a Michel Foucault. Cuando expone sobre la Casa para jóvenes delincuentes de París, menciona su reglamento de 1832 y en que se aprecia un control total de tiempo, desde la mañana hasta la noche y en donde los descansos estaban

programados y eran muy cortos en comparación con las largas jornadas de trabajo y en donde era evidente la importancia que se le dio a la higiene, los presos tenían que lavarse las manos constantemente, en especial antes de comer.

Según Foucault, los jóvenes delincuentes no tenían derecho para manejar su propio tiempo, porque cuando eran libres de hacer lo que querían obraron mal, por eso alguien más tenía que manejar sus días. Foucault lo considera un castigo peor que el de la tortura y la muerte, porque advierte que era tan rígido el reglamento, que no solo estaban controlando los cuerpos sino también el espíritu de los jóvenes parisinos. Era un suplicio diario, constante, permanente, cruel y de una violencia terrible la que ejercían las autoridades a través del reglamento. Además, no había convivencia alguna porque también estaba instaurado el silencio como una norma obligatoria de día y de noche (Foucault, 2002). Se ignoran los alcances que tuvo el segundo reglamento de la Escuela Correccional de Artes y Oficios de Saltillo y que fue mucho más estricto con los tiempos de los jóvenes escolapios, no obstante, como se aprecia en el ejemplo analizados por Foucault, el tiempo tuvo que ser administrado por alguien más, teniendo los niños y jóvenes que ceder su agencia con respecto a la libertad de hacer. Se ignora qué tan estrictas pudieron llegar a ser las autoridades de la Escuela, lo cierto es que se advierte un mayor control del tiempo entre el primero y segundo reglamento, lo que indica que, a los pocos años de funcionamiento, se requirió mucho más control al interior.

4. DE LOS ALUMNOS Y SU INGRESO A LA ESCUELA CORRECCIONAL DE ARTES Y OFICIOS

En el "Informe Elaborado Por Los Comisionados de Instrucción Pública", de 1912, a la Escuela Correccional de Artes y Oficios de Saltillo, es posible saber dónde estaba ubicado el local, hacia ese año se encontraba en "calle primera de Hidalgo con número 20". Según se desprende de dicho informe es que la escuela estaba dividida en dos secciones: el Departamento de Instrucción Primaria, bajo la dirección del profesor José Dolores Bautista y el Departamento de talleres: zapatería, sastrería y carpintería, (AMS, 1912) mismos a los que los alumnos tendrían acceso.

Resulta llamativo que en el primer reglamento no se haya regulado el perfil de los niños y jóvenes que serían recibidos en la Escuela, algo que resulta llamativo luego de los argumentos que esgrimiera el presidente municipal de Saltillo, hombre preocupado por el destino de los más jóvenes y desocupados de la capital del Estado. Quizás se entendía que serían recibidos aquellos que no tuvieran alguna ocupación ni instrucción alguna. En el segundo reglamento, de 1900, en cambio, sí hay requisitos y un perfil específico que es conveniente revisar. En el artículo 41 se expresó que podrían ser alumnos de la correccional aquellos que contaran con una edad de entre 8 y 14 años, excepcionalmente hasta los 17, para lo que debían contar con algún documento que acreditara la edad o en dado caso “por el aspecto del interesado”.

Conviene destacar que la escuela correccional solo aceptaba a varones, no hay registros de que existiera una institución parecida para niñas, en buena medida, esto se explica, por la tendencia de las mujeres y sobre todo niñas a delinquir poco, esto según explica Elisa Speckman, en la criminalidad infantil la presencia femenina era minoritaria debido a la vigilancia familiar que había sobre ellas (Speckman, 2019).

Retomando los requisitos expresados en el reglamento de 1900, los alumnos no debían padecer enfermedad contagiosa ni estar “inutilizados” para el trabajo que se le asigne en la escuela, condición que debía constatar el médico de la institución; el candidato a alumno debía tener “una conducta reprochable [el subrayado es nuestro]”. En el art. 38, se señaló que se considerarían alumnos internos de la escuela, “los jóvenes consignados por el gobierno y por los tribunales de esta capital [y] aquellos cuyos padres o tutores, lo soliciten y obtengan el acuerdo respectivo del presidente municipal”. Esto es interesante, pues se estarían recibiendo jóvenes que ya contaran con antecedentes penales por haber infringido alguna norma, es decir, jóvenes infractores, aunque también recibiría a aquellos a petición de sus padres o tutores con carta dirigida al presidente municipal, como en los siguientes casos. Carta fechada el 22 de septiembre de 1913:

En virtud de no poder asegurar la estancia de mi hijo Melitón Sánchez, en mi casa, pues acostumbra a retirarse de mi compañía sin mi previo permiso, atentamente solicito de esa superioridad se me conceda internarlo en la Escuela de Artes y Oficios de esta capital, por el termino de tres años. Esperando que mi solicitud tenga aceptación, protesto a usted mi profundo

respeto. Saltillo, septiembre 22 de 1913. María Rodríguez. Al ciudadano presidente municipal de Saltillo, Coah (AMS, 1913a).

La carta es interesante, pues, aunque la madre no dice que se trate de un infractor, sí manifiesta su preocupación ante la conducta de su hijo quien, según se desprende de su misiva, solía no solicitar permiso para salir a la calle, probablemente vagando, conducta seguramente reiterativa que superó su paciencia; la madre se muestra impotente: “en virtud de no poder asegurar la estancia de mi hijo [...] en mi casa...” por lo que decidió enderezar el rumbo de su hijo, cuya edad no menciona, a través de enviarlo a la Escuela Correccional de Artes y Oficios.

Frente a la preocupante rebeldía, también estaba la pobreza como en la siguiente petición. En carta dirigida al presidente municipal, el 26 de agosto de 1913, don Eulalio Flores, quien manifestó ser el tutor del niño Manuel Reyes, huérfano “y sin más amparo que una hermana bastante menesterosa...”. Don Eulalio hombre sensible que se dedicaba a las labores del campo en el rancho de Altamira, decidió encausar los deseos de Manuel, “que tiene aspiraciones por saber leer y escribir y aprender un oficio”, por lo que solicitó se le admitiera en la Escuela para que aprendiera lo necesario (AMS, 1913b).

En ambos casos no se supo si los candidatos fueron admitidos, pues muy probablemente se recibían varias cartas por el estilo con cierta frecuencia, lo que pudo haber redundado en criterios más estrictos que impidiera que cualquiera fuera admitido con el mínimo de requisitos.

De ser admitidos, los alumnos vivirían en el establecimiento, haciéndose acreedores a alimentos, vestuario, libros y demás útiles, costeados por el municipio (art. 39), prerrogativa solo para los notoriamente pobres, pues aquellos que no lo fueran, pagarían por sus alimentos, vestuario y todo aquello que los necesitados recibirían de forma gratuita (art. 40). Los alumnos podrían permanecer en la escuela hasta por cinco años, aunque si salieran antes de ese tiempo, se les cobrarían diez pesos por cada mes que permanecieron (art. 44).

Los alumnos, recibían premios en forma de billetes de distinción que podían valer entre uno, cinco o veinte y cinco puntos honoríficos, eran utilizados para librarse de los castigos leves, los billetes eran entregados por el director, subprefecto o profesor de instrucción primaria. También podían recibir

anualmente, por parte del gobernador, libros e instrumentos para el ejercicio de su arte u oficio. Además de que en cada taller y en la escuela había cuadros de honor, donde aparecían los nombres de los alumnos más destacados, que se cambiaban el día primero de cada mes (art. 56).

Frente a los reconocimientos y consideraciones, también se contemplaron castigos para las malas conductas. Si la falta era ligera, el supervisor reprendía al alumno en privado explicando los inconvenientes de su conducta. Si la falta era grave, además de la reprimenda privada, se le anotaba al alumno en la lista correspondiente con uno o más puntos de mala conducta. En caso de reincidencia o falta más grave, se regañaba al alumno delante de su grupo y permanecía entre quince y veinte minutos en un lugar visible del departamento, además de agregar puntos de mala conducta en la lista. Si llegaba a ocurrir una segunda reprensión pública, el alumno era borrado del cuadro de honor, en el caso que estuviera ahí, y podía regresar si demostraba buena conducta durante un mes, aparte tenía que permanecer de pie entre quince y veinte minutos. Si se repetían las faltas o dañaban a terceros pasaban un tiempo en el calabozo (art. 57).

No se indica cuántos alumnos tenía cada taller, sino el total de alumnos en la escuela que variaban desde los 22 hasta los 33 (AMS, 1896b). Debido a que algunos solo estaban cumpliendo una condena por determinado tiempo, otros se enfermaban y se iban a su casa o al Hospital Civil para recuperarse y pocos eran los que se escapaban del plantel.

A pesar de que se buscaba corregir a dichos jóvenes, en algunas ocasiones su mal comportamiento sobrepasaba a la institución cómo es el caso de Félix Maldonado. El 22 de octubre de 1915 el padre de Félix mandó una carta al presidente municipal, prometiéndole que se devolvería la frazada que su hijo robó de la escuela y se comprometía a “traerlo cuantas veces se deserte de aquí” (AMS, 1915). El 9 de junio de 1917 el director de la escuela, Jesús Narro, le mandó una carta al presidente municipal comunicándole que José Cisneros, quien había sido enviado al plantel por orden del juzgado 2º menor por el delito de robo, se había fugado a las dos de la mañana, pero había sido capturado inmediatamente. Jesús Narro mencionó acerca de Cisneros que “no ha sido posible conseguir su corrección y es un elemento malo que corrompe a los demás” (AMS, 1917a).

Se puede advertir en esta muy pequeña muestra de casos las causales y el perfil de ingreso de los alumnos de la correccional que iban desde aquellos

que tenían un genuino deseo por aprender, pero una limitada economía; aquellos problemáticos, que, sin llegar a ser delincuentes rebasaban el cuidado de los padres y aquellos que eran un auténtico problema, llegando a sustraer artículos de la correccional y aquellos que tenían algún antecedente por delito menor como robo.

5. EL OCASO DE LA ESCUELA CORRECCIONAL DE ARTES Y OFICIOS

El 10 de mayo de 1917, seguramente en plena crisis que dejó el movimiento armado revolucionario de México, fue que el municipio comunica al gobierno estatal que le es imposible seguir manteniendo al Consejo Superior de Salubridad y a la Escuela Correccional de Artes y Oficios, de tal suerte que “para cubrir la siguiente quincena de egresos le hacen falta entre cinco a seis mil pesos por la poca voluntad del comercio, el pueblo y demás instituciones por pagar sus contribuciones” (AMS, 1917b). Antes bien la Escuela Correccional se mantuvo en funciones durante la lucha armada, resistiendo los embates económicos y sobresaltos sociales.

Siete días más tarde, en el acuerdo 324 de las actas de cabildo, se informa que la Escuela Correccional de Artes y Oficios ahora dependerá directamente del gobierno del Estado (AMS, 1917c). Sin embargo, el 09 de agosto de 1917, el gobierno del Estado afirma no ser capaz de sostener el gasto mensual que representa la Escuela Correccional y, en una actitud radical, mandó remitir a los alumnos que eran de otros estados a su lugar de origen (AMS, 1917d).

Aunque resultaban irrevocables los arreglos para la extinción de la Escuela Correccional y del Consejo de Salubridad, a finales de agosto designó una comisión especial integrada por el licenciado Gustavo Figueroa, el profesor José R. Briones y Benjamín Flores, para exponer al gobernador del estado de su insolvencia para mantener a ambas instituciones y poder remirarlos casos para conseguir subsidios (AMS, 1917e). La Comisión fracasa y en septiembre el cabildo acuerda comunicar al gobierno del Estado que el municipio continuaría sosteniendo a las dos instituciones en riesgo, pero solo hasta el 30 de septiembre; (AMS, 1917f) y así ocurrió, el municipio no pudo sostener los gastos y el gobierno estatal tampoco hizo lo posible por sostener los gastos ni mucho menos el proyecto de la Escuela Correccional. Sus días y la vigencia de su proyecto habían quedado en el pasado. Cerró sus puertas muy

seguramente el 30 de septiembre, fecha en que dejó de sostenérsele con los fondos públicos, lo que se confirma con un documento fechado el 25 de octubre de 1917, en donde se ordena al encargado de la huerta de la “antigua Escuela de Artes y Oficios”, (AMS, 1917g) llenar la pila de agua para las plantas, una actividad que, a juzgar por el cariz de la Escuela, bien pudieron llevar a cabo los entonces alumnos correccionales.

Aunque el proyecto no lo recuperó el gobierno municipal ni estatal, se tienen noticias de que lo hizo la iniciativa privada muy poco tiempo después, aunque ya sin pretensiones regeneradoras ni mucho menos de corrección, se fundó una Escuela de Artes y Oficios.

Hay dos documentos que prueban su existencia, aunque no se tiene la certeza de que sea la misma institución. El primero está fechado a menos de un año de la extinción de la Escuela Correccional, el 24 de abril de 1918. El caso es interesante, pues, aunque hay indicios de que se trataba de una escuela para fomentar las artes y los oficios entre los más jóvenes, en el imaginario popular siguió presente la idea de que se trataba de una institución de corrección, como lo demuestra el oficio que mandó R. Flores al presidente municipal José R. Mijares el 24 de abril de 1918. En este oficio se menciona que no es conveniente admitir en el plantel a Sabino Hernández por su mala conducta, “la Escuela de Artes y Oficios no debe considerarse como establecimiento correccional, si no una escuela propiamente dicha donde no es conveniente admitir a los delinquentes para evitar la corrupción de los educandos” (AMS, 1918).

Algunos años más adelante, un documento del cabildo fechado el 22 de febrero de 1923 aparece el nombre de Escuela de Artes y Oficios H. Maas, (Henry Maas o Enrique Maas), nombre de un filántropo de origen austríaco, fallecido a principios del siglo XX y que, junto con su esposa Trinidad Narro de Maas, invirtieron gran parte de su patrimonio en obras de beneficencia, entre ellas, la fundación de un asilo para niñas huérfanas y la Escuela de Artes y Oficios que llevaba su nombre (AMS, 1923). Aunque se tratara de otro proyecto que no tuvo que ver directamente con la Escuela Correccional, en ambos casos, su creación y funcionamiento, obedeció a un genuino deseo de servir a un sector que se consideró vulnerable: el de los niños y jóvenes.

La Escuela de Artes y Oficios que apareció tras la revolución tiene un carácter totalmente diferente al de la Escuela Correccional que surgió a finales del siglo XIX, la primera era de carácter gubernamental, sostenida por los fondos



municipales o estatales, mientras que la segunda formó parte de la iniciativa privada. Pese a que el proyecto cambió de manos, intentó brindar a las juventudes de herramientas que les permitiera medios honrados para ganarse la vida.

CONCLUSIONES

La creación de una Escuela Correccional de Artes y Oficios en Saltillo fue la respuesta al problema de los pequeños delincuentes que pululaban en la ciudad a finales del siglo XIX, un siglo lleno de transformaciones.

La Escuela Correccional de Artes y Oficios surge en un momento específico de la historia de México, el porfiriato. El control de la población y el manejo del tiempo tenía la finalidad de corregir hábitos que se consideraban indeseables: durante el porfiriato se pretendió formar a un ciudadano responsable, respetuoso, trabajador, que buscara el bien de la nación y el progreso y modernización de ésta. Además de acabar con el problema de los mendigos, huérfanos, vagabundos y pequeños delincuentes que comenzaban a ser peligrosos para la sociedad trabajadora. Otro logro que se quería obtener era la creación de obreros especializados que contribuirían como mano de obra en la reciente industrialización del país.

La Escuela Correccional de Artes y Oficios fue una institución de su época, en la cual cuestiones como la moral, el control y el trabajo fueron fundamentales para crear ciudadanos dignos. Tras el paréntesis revolucionario de 1910 que logró la destitución de Porfirio Díaz, y dio paso a una nueva Constitución en 1917 junto con una vuelta a la calma (de forma relativa), la Escuela Correccional de Artes y Oficios se extinguió, eran otros tiempos y, de la asistencia a los jóvenes y niños proporcionada por el gobierno de estado, se dio paso al de la iniciativa privada: se creó la Escuela de Artes y Oficios H. Mas que tenía otros objetivos a cumplir con la infancia saltillense, ya no era corregirla, ya no estaba enfocada en los sectores vulnerables o que representaban una amenaza social, pero sí en el reforzamiento de los valores del trabajo y la disciplina.

Para consultar trabajos importantes en México sobre la infancia véase los trabajos de Susana Sosenski Niños en acción. El trabajo infantil en la ciudad de México (1920-1934) (México: El Colegio de México, 2010), Robachicos. Historia del secuestro infantil en México, 1900-1960 (México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2021) y Beatriz Alcubierre y Susana Sosenski, Historia mínima de las infancias en México (México: El Colegio de México, 2024). Además del capítulo de la autoría de Elisa Speckman Guerra, "Infancia es destino. Menores delincuentes en la ciudad de México (1884-1910)", en De normas y transgresiones. Enfermedades y crímenes en América Latina 1850-1950, editado por Claudia Agostoni y Elisa Speckman Guerra (Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2019).

REFERENCIAS

- Alcubierre, B. & Sosenski, S. (2024). Historia mínima de las infancias en México. México: Ed. El Colegio de México, 201 pp.
- AMS, (1917b), AC, Libro (L) 35, Acuerdo (a) 324, foja (f) 62 v. Acuerdo. Se acuerda que la Escuela de Artes y Oficios pase a depender directamente del gobierno del estado.
- AMS, (1917c).AC, L. 35, a. 470, f. 83v. Acuerdo. Se acuerda remitir a su lugar de origen a los alumnos de la Escuela de Artes y Oficios que procedan de otros estados.
- AMS, (1917d). AC, L. 35, a. 515, f. 91v. Designación. Se designa una comisión especial para exponer al gobernador del estado que el municipio no puede seguir subsidiando el Consejo de Salubridad y Escuela de Artes y Oficios.
- AMS, (1917e). AC, L. 35, a. 555, f. 98r. Acuerdo. Se acuerda comunicar al gobierno del estado que el municipio sostendrá al Consejo de Salubridad y la Escuela de Artes y Oficios solo hasta el último día del presente mes.
- AMS, (1917f). AC, L. 36, a. 66, f. 27r. Orden. Se ordena al encargado de la huerta de la de la antigua escuela de Artes y Oficios llene la pila de agua solamente los días de riego.
- AMS, (1917g). AC, L 35, a. 305, f 59 v. Acuerdo. Se acuerda comunicar al gobierno del estado que al municipio le es imposible seguir manteniendo el Consejo Superior de Salubridad y la Escuela de Artes y Oficios.
- AMS, (1923), AC, L 41, a 44, f 7. Recomendación. El presidente del patronato de la Escuela de Artes y Oficios, H. Mass, comunica que ya se recomendó al vecindario de Buenavista



construya sus excusados al lado poniente de la hacienda de acuerdo con las indicaciones del presidente municipal.

AMS, (1896a), PM, (c) 139/2, (L) 29, (e) 33, 10(ff). El presidente Municipal comunica al gobierno del estado su iniciativa de establecer una escuela correccional de artes y oficios.

AMS, (1896b), PM, C 139-2, L 29, e. 41, 154 ff. Partes diarios de la escuela correccional de artes y oficios.

AMS, (1900), PM, c 143, L 1, e 12, 26 ff. Proyecto de reglamento para la Escuela Correccional de Artes y Oficios de esta ciudad.

AMS, (1912), PM, c 155-1, L 5, e 2, 2 ff. Informe sobre Escuela Correccional de Artes y Oficios. Comisionados de instrucción pública.

AMS, (1913a), PM, C 156/2, L 29, e 3, 1 f. María Rodríguez solicita al presidente municipal de Saltillo le autorice internar a su hijo Melitón Sánchez en la escuela correccional de artes y oficios.

AMS, (1913b), PM, C 156/2, L 29, e 4, 1 f. Eulalio Flores solicita al presidente municipal de Saltillo internar al niño Manuel Reyes en la escuela correccional de artes y oficios.

AMS, (1915), PM, c 158-1, L 7, e 4, 1 f. Jesús Narro solicita al presidente municipal de Saltillo ordene que el joven Félix Maldonado sea entregado a su padre, quien lo trasladará a la escuela de artes y oficios.

AMS, (1917a), PM, c 160-2, L 19, e 5, 1 f. El director de la escuela de artes y oficios informa al presidente municipal que no es posible corregir la conducta de José Cisneros.

AMS, (1918), PM, c 161, L 5, e 32, 1 f. La Secretaría de Gobernación y Fomento comunica al presidente municipal que el gobernador del estado no estima conveniente que Sabino Hernández ingrese a la escuela de artes y oficios.

Bailón, F. (2012). La Escuela Correccional de Artes y Oficios de Oaxaca, 1889–1901. *Estudios de Historia Moderna y Contemporánea de México* 44: 137–173.

Briseño, L. (2005). La moral en acción. Teoría y práctica durante el porfiriato. *Historia Mexicana* 55: 419–460.

Calvillo, M. & Ramírez, L., et al. (2011). La educación técnica en México desde la independencia 1810-2010. Tomo I En De la enseñanza de artes y oficios a la educación técnica, 1810-1909. México: Ed. Instituto Politécnico Nacional, 407 pp.

Código penal para el Distrito Federal y Territorio de la Baja California sobre delitos del fuero común, y para toda la República sobre delitos contra la Federación. (1871). México: Ed. Ministerio de Justicia e Instrucción Pública.

- Foucault, M. (2002). *Vigilar y castigar. Nacimiento de la prisión*. Ciudad de México: Ed. Siglo XXI Editores, 314 pp.
- Goffman, E. (2001). *Internados. Ensayos sobre la situación social de los enfermos mentales*. Buenos Aires: Ed. Amorrortu, 384 pp.
- González, V. (2012). Una solución a la pobreza: el establecimiento de las Escuelas de Artes y Oficios en México durante el siglo XIX. El caso jalisciense." *Historiolo. Revista de Historia Regional y Local* 4: 145–171.
- Padilla, A. (1998). Escuelas especiales a finales del siglo XIX. Una mirada a algunos casos en México. *Revista Mexicana de Investigación Educativa* 3: 113–138.
- Pérez, B. (2023). Escuela Correccional de Artes y Oficios del Estado de Oaxaca. Disponible en: <https://www.oaxaca.gob.mx/ageo/escuelacorreccional-de-artes-y-oficios-del-estado-de-oaxaca/>. Fecha de consulta: 14 de abril de 2023.
- Santiago, Z. (2014). Los niños y jóvenes infractores en la ciudad de México, 1920–1937. *Secuencia* 88: 193–215.
- Sosenski, S. & Jackson E., coords. (2012). *Nuevas miradas a la historia de la infancia en América Latina: entre prácticas y representaciones*. México: Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, 336 pp.
- Sosenski, S. (2010). *Niños en acción. El trabajo infantil en la ciudad de México (1920-1934)*. México: Ed. El Colegio de México, 365 pp.
- Sosenski, S. (2021). *Robachicos. Historia del secuestro infantil en México, 1900-1960*. México: Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, 278 pp.
- Speckman, E. (2019). Infancia es destino. Menores delincuentes en la ciudad de México (1884-1910). En Claudia Agostoni y Elisa Speckman Guerra (Eds.), *De normas y transgresiones. Enfermedades y crímenes en América Latina 1850-1950*, (pp. 225-254). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vázquez, C. (2004). Primeras normas e instituciones protectoras de la infancia delincuente en España. *Boletín de la Facultad de Derecho* 24: 173–200.

DISEÑO Y ANÁLISIS MECÁNICO MEDIANTE MÉTODO DE ELEMENTO FINITO DE UNA IMPRESORA 3D PARA EL VACIADO DE CONCRETO DE BAJO REVENIMIENTO MEDIANTE TORNILLO SINFÍN

Mechanical design and analysis using the finite element method of a 3D printer for low slump concrete pouring using a screw conveyor

LOZANO PERALES, Julián Fernando

GÓMEZ CASAS, Josué

CASTRO SOLÍS, Luis Everardo

RODRÍGUEZ ÁVILA, Jafeth

OBREGÓN FLORES, Jonathan
Sebastián

GUERRA BRAVO, Esteban

RESUMEN

El concreto poroso ha emergido como una alternativa para la reducción de escurrimiento superficial y aumenta la permeabilidad de agua en aplicaciones de tecnología azul-verde. Sin embargo, este tipo de concreto se caracteriza por la ausencia de agregados finos, generando vacíos en su estructura, lo que permite el paso del agua, manteniendo las propiedades mecánicas adecuadas en el uso de tránsito ligero. Cabe destacar que el concreto poroso tiene revenimiento cero y carece de trabajabilidad, lo cual representa una problemática al ser vaciado con métodos tradicionales con bombas como el concreto convencional debido a que prácticamente no tiene fluidez, lo que lo convierte en un material de difícil manejo. La propuesta de esta investigación se centra en el diseño de una impresora de concreto con tres grados de libertad utilizando un tornillo sinfín y una artesa para transportar el concreto poroso. El diseño del elemento extrusor de una máquina impresora de concreto poroso fue validado mediante un software de método de elemento finito y a través de las ecuaciones de von Mises a flexión y complementadas con el análisis de mecánica de materiales. Las simulaciones permitieron determinar de las cargas, los esfuerzos, las deflexiones y el factor de seguridad del extrusor en la impresora. Los resultados del método de elemento finito son congruentes con los de mecánica de materiales, rango de esfuerzo de 0 a 24 MPa, deformación de 0.2 mm y factor de seguridad mayor a 1.

Palabras clave: concreto; bajo revenimiento; tornillo sinfín; máquina impresora; análisis mecánico.

Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de
Coahuila, Arteaga, Coahuila
México.

Correspondencia:
jogomezc@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-1136-3187>
Fecha de recepción
6 de octubre de 2025.
Fecha de aceptación
14 de enero de 2026.

ABSTRACT

Porous concrete has emerged as an alternative for reducing surface runoff and increasing water permeability in blue-green technology applications. However, this type of concrete is characterized by the absence of fine aggregates, creating voids in its structure that allow water to pass through while maintaining adequate mechanical properties for light traffic applications. It is important to note that porous concrete has zero slump and lacks workability, which presents a problem when poured using traditional methods with pumps, such as conventional concrete, because it has virtually no fluidity, making it a difficult material to handle. This research focuses on the design of a concrete printer with three degrees of freedom using a screw conveyor and a trough to transport the porous concrete. The design of the extruder element of a porous concrete printer was validated using finite element method software and through von Mises equations for flexure, complemented by a materials mechanics analysis. The simulations allowed us to determine the loads, stresses, deflections, and safety factor of the extruder in the printer. The results of the finite element method are consistent with those of mechanics of materials, with a stress range of 0 to 24 MPa, a deformation of 0.2 mm, and a safety factor greater than 1.

Keywords: concrete; low slump; screw conveyor; printing machine; mechanical análisis.

1. INTRODUCCIÓN

La impresión 3D de concreto ha progresado como una opción para industrializar la construcción mediante extrusión capa por capa, con impactos en costos y tiempo. En años recientes se han logrado avances en el control de la trayectoria y la deposición a gran escala (Ahmed y col., 2023; Yang y col., 2024). Se han identificado condiciones que influyen en la resistencia y durabilidad, tales como el flujo sin obstrucciones, la capacidad de soportar capas sucesivas, la conservación de la forma, la fluidez en estado fresco, la unión entre capas y el diseño de la boquilla (Rahman y col., 2024; Si y col., 2025).

Aunque la industria ha buscado adaptar concretos convencionales a la impresión con concreto, estas soluciones se orientan a mezclas bombeables (CEMEX, 2022; COBOD International, 2022; ASTM International, 2020). De



forma complementaria, diversos estudios han propuesto criterios de diseño para sistemas de extrusión por tornillo y han empleado el FEM para modelar tanto la estructura como el proceso de vaciado (Lugo, 2015; Chen y col., 2023; Polychronopoulos y col., 2024; Yu y col., 2024; Phung Van y col., 2023; Trieu y col., 2025; Figueroa-Díaz y col., 2019). Sin embargo, ninguno de estos avances se ha traducido en una técnica consolidada para el vaciado de concretos de bajo revenimiento, que en la práctica aún se coloca de forma manual con las limitaciones conocidas (Duarte Gutiérrez y col., 2021).

Ante esa ausencia de sistemas consolidados, algunos trabajos han explorado soluciones para concreto poroso de bajo revenimiento, combinando mortero extruido con agregado grueso como soporte durante la colocación (Lyu y col., 2023). Estos ensayos muestran que, aunque se conserva la forma y la permeabilidad, el punto crítico continúa siendo la alimentación cuando la mezcla no se puede bombear, lo que refuerza el interés en alternativas como el tornillo sinfín para dosificar y transportar sin presión hidráulica (Bákit y col., 2021).

En la actualidad, los vaciados de concreto de bajo revenimiento mediante procesos automáticos representan un desafío en el bombeo por su baja trabajabilidad y maleabilidad. Además, el concreto de bajo revenimiento se caracteriza por su consistencia rígida, fluidez muy limitada y, en el caso del concreto poroso, por la ausencia de agregado fino, lo que da lugar a una matriz discontinua con altos vacíos interconectados. Estas propiedades dificultan el transporte convencional, ya que la mezcla tiende a atascarse en tuberías y boquillas, además no se genera la presión interna suficiente para un flujo continuo.

Ante este escenario, se plantea en esta investigación la integración de un tornillo sinfín como mecanismo de transporte de material granular, el cual, permite el vaciado controlado de mezclas de bajo revenimiento y de difícil manejo, constituyendo una alternativa viable a los sistemas de bombeo convencionales. Además, el análisis mecánico de la artesa, la tolva y la estructura de soporte permite determinar las cargas y esfuerzos que enfrenta el sistema durante la operación, generando criterios objetivos para su dimensionamiento y validación.

El objetivo de este trabajo es evaluar mecánicamente una impresora equipada con tornillo sinfín para el vaciado de concreto de bajo revenimiento, aplicando mecánica de materiales y análisis por elementos finitos, con el fin

de establecer los esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad en sus principales componentes.

El artículo se organiza como sigue: la Sección 2 describe los materiales y métodos; la Sección 3 resume la teoría de von Mises; la Sección 4 detalla el proceso de simulación y la Sección 5 expone las conclusiones de este trabajo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se presentan la propuesta, las características y las medidas del diseño de la máquina impresora para el vaciado de concreto de bajo revenimiento.

DISEÑO DE TORNILLO SINFIN

Se propone el diseño de un tornillo sinfín tipo estándar con longitud de 165 cm, el cual es utilizado como transportados del material, su relación entre el diámetro del helicoide y la distancia de paso entre arandelas es de 1:1. Se plantea el diseño de una flecha de 1" (2.54 cm) y un agregado grueso máximo de 1" (2.54 cm), para evitar la obstrucción de elementos en la artesa, con un tamaño 2.5 veces mayor al agregado grueso utilizado, dando así un resultado de 15 cm del helicoide. A este diseño se le resta 1 mm para evitar fricción con la artesa, es decir, es la misma medida de paso entre arandelas y del helicoide como se observa en la Figura 1a y Figura 1b.

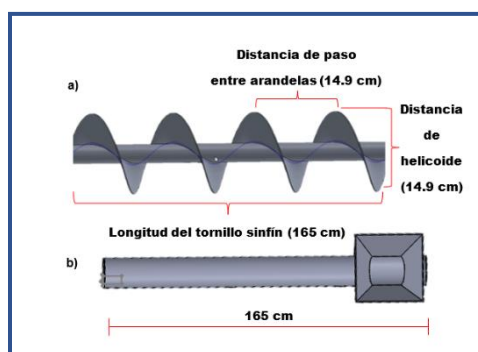


Figura 1. Tornillo sinfín y artesa, a) diseño del tornillo sinfín, b) diseño de la artesa (vista superior).

DISEÑO DE ARTESA

Al utilizar un material abrasivo como el concreto, este genera fricción entre el tornillo sinfín y la artesa, lo que provoca desgaste, dañando internamente la superficie de la artesa y contaminando la mezcla con partículas desprendidas de la artesa. Por lo tanto, se requiere

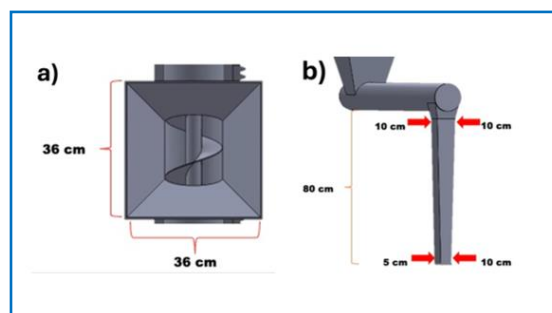


Figura 2. Diseño de la entrada y salida de la artesa, a) entrada de artesa (vista superior) b) y salida de artesa (vista frontal).

ACTUACIÓN DEL SISTEMA

Para una primera propuesta de actuación de la máquina impresora se tiene un cuerpo rectangular (50x50x80 cm), el cual tiene movimiento en los ejes "X" y "Z". Para poder cumplir con el avance lineal, se plantea un sistema de rieles que servirán como guías, mientras que una rueda de goma instalada a la flecha del motor desplazará el cuerpo del sistema por el eje "X" como se observa en la Figura 3.

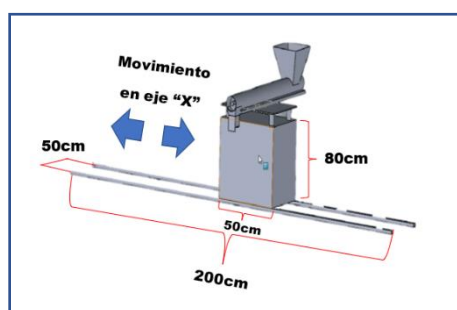


Figura 3. Sistema de movimiento en eje "X".

Siguiendo con el segundo avance, su actuación se propone por medio de un engrane recto estándar, que será acoplado a un motor en la parte superior. El engrane se fija a una placa en donde se coloca la artesa junto con el tornillo sinfín, como se visualiza en la Figura 4. De este modo, se permite el movimiento de la placa en el eje "Y" como se observa en la Figura 5.

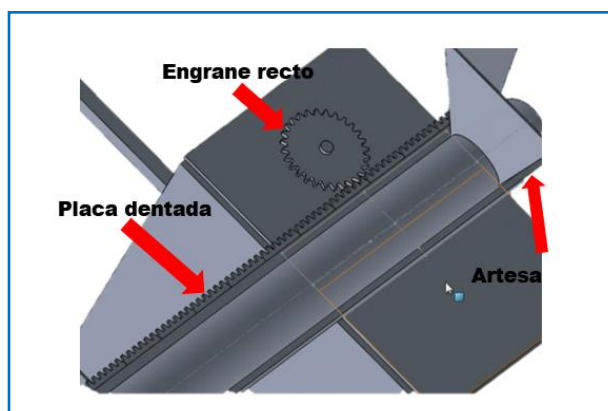


Figura 4. Sistema de engranaje.

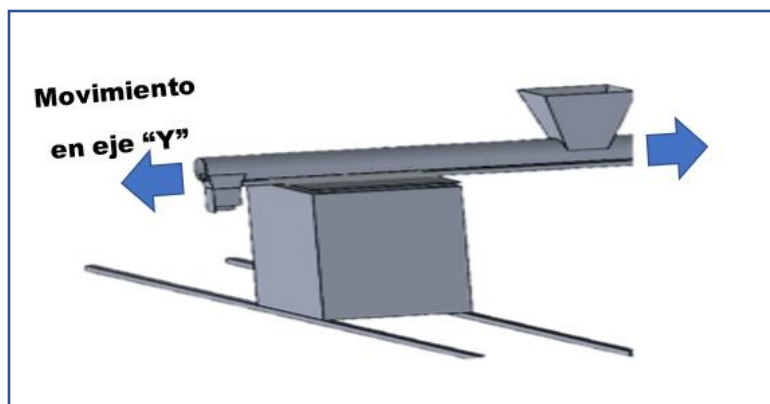


Figura 5. Sistema de movimiento en eje "Y".

Procediendo con el tercer avance, su sistema de actuación se propone mediante un motor eléctrico conectado en secuencia a un pistón que eleve la placa base, así permitiendo el desplazamiento de la placa base de forma vertical, dando la altura requerida, como se observa en las Figuras 6 y 7.

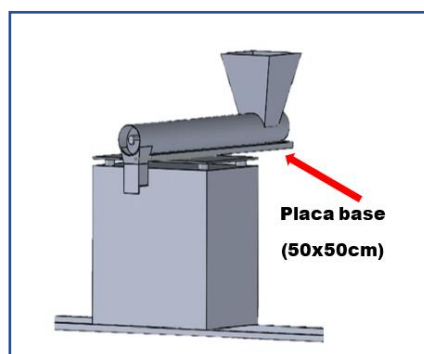


Figura 6. Punto inicial de placa base para movimiento en eje "Z".

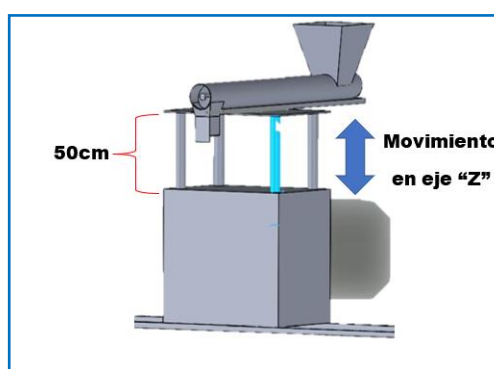


Figura 7. Punto final de placa base.

3. TEORÍA DE VON MISES

La teoría de Von Mises o criterio de energía de distorsión, se utiliza para predecir la falla plástica en materiales dúctiles. Suponiendo que la curva de esfuerzo-deformación unitaria sea esencialmente lineal hasta el punto de fluencia, entonces, se expresa la energía de deformación total por unidad de volumen en cualquier punto de ese intervalo como lo muestra la Ecuación 1.

$$U = \frac{1}{2} \sigma \varepsilon \quad 1$$

Ampliando esto a un estado de esfuerzos tridimensional, mostrado en la Ecuación 2.

$$U = \frac{1}{2} (\sigma_1 \varepsilon_1 + \sigma_2 \varepsilon_2 + \sigma_3 \varepsilon_3) \quad 2$$

usando los esfuerzos σ_1, σ_2 y σ_3 y las deformaciones $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ y ε_3 principales que actúan sobre los planos de esfuerzo cortante igual a cero. Resulta conveniente en situaciones que implican esfuerzos de tensión y cortantes combinados que actúan sobre un mismo punto, definir un esfuerzo efectivo que sirva para representar la combinación de esfuerzos. El enfoque de la energía de distorsión proporciona un buen medio para hacer esto en materiales dúctiles. El esfuerzo efectivo de Von Mises σ se define como el esfuerzo de tensión uniaxial que crearía la misma energía de distorsión que la combinación real de los esfuerzos aplicados.

Este enfoque permite tratar casos de esfuerzos combinados multiaxiales de tensión y cortante, como si se debieran a una carga de tensión pura. El esfuerzo efectivo de Von Mises σ para el caso tridimensional es el utilizado por el método de elemento finito, mostrado en la Ecuación 3.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_1 \sigma_3} \quad (3)$$

Esto también se expresa en términos de los esfuerzos aplicados como la Ecuación 4:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}}, \quad (4)$$

y para el caso bidimensional y considerando el factor de seguridad, partiendo de la Ecuación 3 (con $\sigma_2 = 0$), mostrada en la Ecuación 5.

$$\frac{S_y}{FS} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_3 + \sigma_3^2} \quad (5)$$

y si se expresa en términos de los esfuerzos aplicados, la Ecuación 6.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (6)$$

Se usan estos esfuerzos efectivos para cualquier situación de esfuerzos combinados. Donde se tiene flexión pura, se puede simplificar $\sigma_x = \frac{Mc}{I}$, representa la flexión a lo largo del tubo.

4. PROCESO DE SIMULACIÓN

El proceso de simulación implica un preprocesamiento que consiste en la determinación de las cargas, los apoyos, la geometría, la selección del tipo de análisis, las propiedades del material y el mallado tetraédrico. El procesamiento consiste en la simulación con los parámetros descritos. Por otra parte, el posprocesamiento consiste en una representación gráfica de los resultados. Como lo son las tensiones o esfuerzos, los desplazamientos o deflexiones, el factor de seguridad y las iso-superficies, tal como lo muestra el diagrama de la Figura 8.

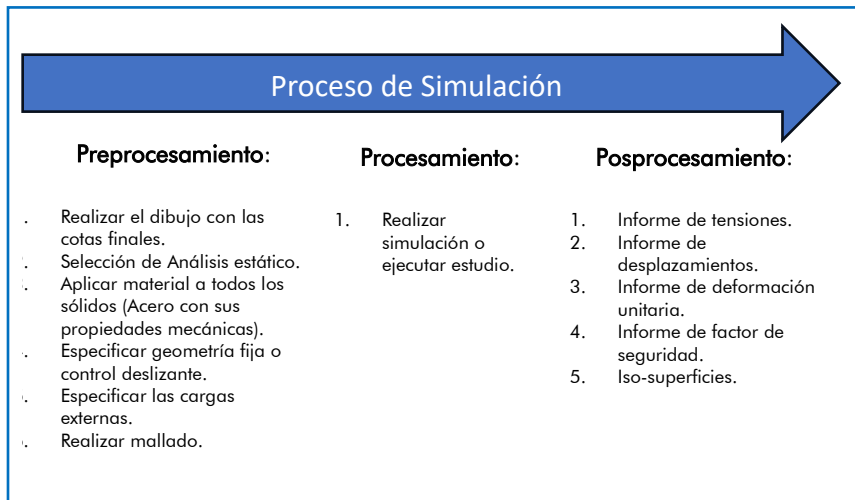


Figura 8. Descripción del proceso de simulación.

Se empleó el software SolidWorks Simulation 2020 (Dassault Systèmes) a través del módulo de análisis estático estructural, utilizando una malla automática por defecto conformada por elementos sólidos tetraédricos tridimensionales. Este tipo de método de elemento finito permite representar con precisión suficiente, desde el punto de vista ingenieril, el comportamiento

estructural en las tres dimensiones del modelo, evaluando la distribución espacial de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos en todo el dominio analizado.

Las simulaciones se realizaron en una estación de trabajo equipada con un procesador AMD Ryzen 7 5700G, 16 GB de memoria RAM y sistema operativo Windows 10 de 64 bits. El análisis numérico tridimensional permitió obtener una distribución detallada de tensiones y concentraciones locales bajo el criterio de Von Mises, mientras que el método teórico de Von Mises se aplicó únicamente para la flexión, proporcionando un valor promedio del esfuerzo equivalente, empleado como referencia para validar comparativamente los resultados del modelo numérico.

El estudio de las cargas se realiza con el cálculo de los volúmenes y la densidad del concreto. Se obtiene el volumen de la tolva de $V_{tolva} = 0.0254 \text{ m}^3$ y el cilindro tiene un volumen de $V_c = 0.031 \text{ m}^3$. Se someterán a una carga que podrá ser calculada con estos volúmenes y densidades con la Ecuación 7.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (7)$$

Se utilizó una carga de $2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, simulando la densidad de un concreto convencional, esto multiplicado al volumen de la tolva y el tubo obteniendo su masa $m_t = 63.5 \text{ kg}$ y $m_c = 87.5 \text{ kg}$, respectivamente. Con los datos obtenidos, es momento de iniciar con el análisis estático de cargas que ejercen sobre la tolva y el tubo mostrado en la Figura 9..

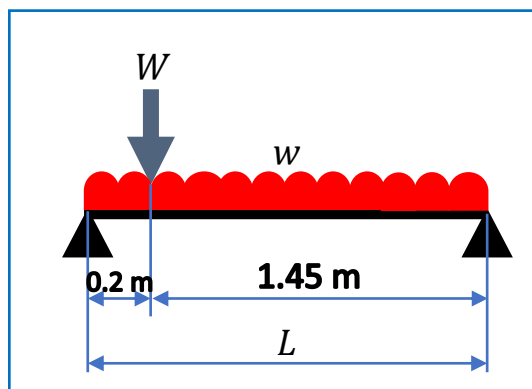


Figura 9. Diagrama de viga.

Como se observa en la Figura 9, se tienen dos tipos de cargas, una carga puntual (W), es por donde entra la mezcla en la tolva y una carga distribuida

(w), es por donde se transporta la mezcla de concreto hasta su salida. Iniciando el cálculo de la carga distribuida $w = 520.23 \frac{N}{m}$ esto por parte de la carga distribuida sobre el cilindro, ahora se analiza la carga concentrada de $W = 622.94 N$ al obtener todos los datos necesarios, se procede a realizar el análisis de cortante y de flexión de la viga, con MD Solid, como se muestra en la Figura 10 y Figura 11 contemplando un factor de carga de 2, se obtienen los valores de la Tabla 1.

Tabla 1. Cargas según la densidad del concreto.

$\rho_{concreto}$	$w \left(\frac{N}{m}\right)$	$W (N)$	$M (Nm)$	$\sigma (MPa)$
500	209.28	255.06	99.01	2
1000	419.75	510.12	198.41	4
1500	629.03	767.14	297.65	6
2000	838.31	1024.16	396.91	9
2500	1040.46	1245.88	489.63	11

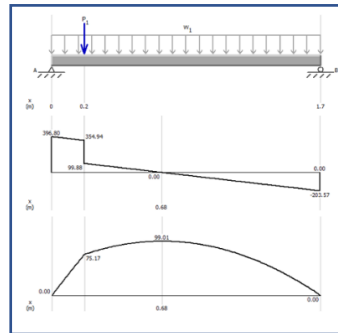


Figura 10. Diagrama de cortante y flexionante con la primera carga de la Tabla 1.

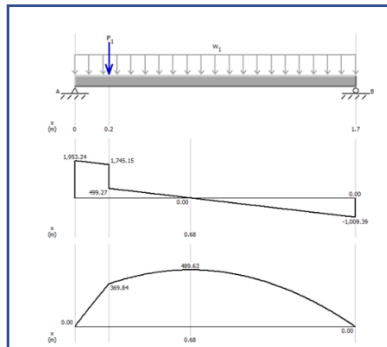


Figura 11. Diagrama de cortante y flexionante con la última carga de la Tabla 1.

Los datos del problema se tienen, el momento flexionante máximo tiene un valor de $M = 99.01 \text{ Nm}$, para una densidad de $\rho = 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ y el momento flexionante máximo de $M = 496.31 \text{ Nm}$ para una densidad de $\rho = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. El diámetro exterior es de $D = 0.155 \text{ m}$ y el diámetro interior es de $d = 0.150 \text{ m}$, el espesor del tubo es de $e = 0.0025 \text{ m}$, por lo tanto, se estima el momento de inercia de área, en función del espesor con la ecuación (8)

$$I_{xx} = \frac{\pi}{8}e(D^3 - 3D^2e - 4De^2 - 2e^3) \quad (8)$$

El momento de inercia máximo de $I_{xx} = 3.4828 \times 10^{-6} \text{ m}^4$, tal y como se observa en la Figura 12, en función del espesor.

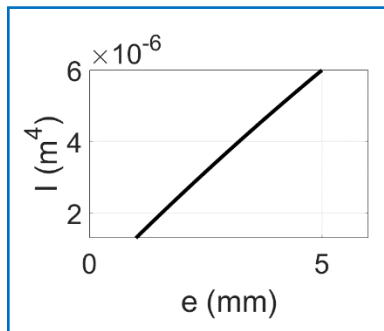


Figura 12. Momento de inercia de área en función del espesor de 1 a 5 mm.

Con el momento de inercia en función del espesor de la Ecuación 8 y se muestra su gráfico en la Figura 13

$$\sigma = \frac{4M}{\pi(D^2e - 3De^2 + e^3 - 2e^4)} \quad (9)$$

La densidad del concreto es variable en función de los elementos que lo componen, como el objetivo es diseñar el dispositivo para concreto de bajo revenimiento se contempla las densidades y su efecto en la carga del dispositivo. En la Figura 13 se muestra el efecto sobre el esfuerzo del espesor del cilindro y de la densidad del concreto. Observándose que, a mayor espesor y menor densidad, se reduce el esfuerzo, y viceversa.

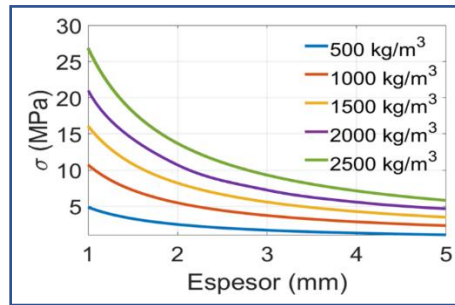


Figura 13. Esfuerzo en función del espesor de 1 a 5 mm.

ESFUERZOS O TENSIONES

Para un espesor de 2.5 mm, el esfuerzo obtenido mediante el método de elementos finitos en SolidWorks, se comparó con el cálculo analítico del esfuerzo promedio de 11 MPa, de acuerdo con la ecuación 9. En SolidWorks se puede observar el gráfico de tensiones, Figura 14 con un rango de 0 – 24 MPa, que representan los esfuerzos en los nodos mínimo y máximo, cuyo promedio por sección transversal es estimado por la ecuación (9). De esta manera se validan los esfuerzos en el método de elemento finito con los esfuerzos calculados por Von Mises en flexión pura, tal y como lo muestra la Figura 20.

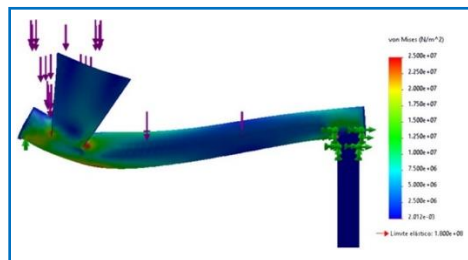


Figura 14. Mapa de estrés de tensiones del extrusor, donde las zonas rojas indican los puntos de mayor tensión, manteniéndose por debajo del límite de ruptura del material, validando la seguridad del diseño.

El factor de seguridad se evaluó considerando el esfuerzo límite elástico del acero AISI 1010, con una resistencia de $\sigma_{LE} = 180 \text{ MPa}$. Este se calcula con la ecuación (10):

$$FS = \frac{\sigma_{LE}}{\sigma_{Calculado}} \quad (10)$$

En la condición menos segura, correspondiente a un espesor de 1 mm, el factor de seguridad es de $FS = \frac{180 \text{ MPa}}{27 \text{ MPa}} = 6.66$, con la carga máxima debida

al concreto de densidad de $2500 \frac{kg}{m^3}$. Con el espesor de 5 mm se tiene un factor de seguridad de $FS = \frac{180 MPa}{7 MPa} = 25.7$. Que comparativamente con SolidWorks se aproxima como lo muestra la Figura 15.

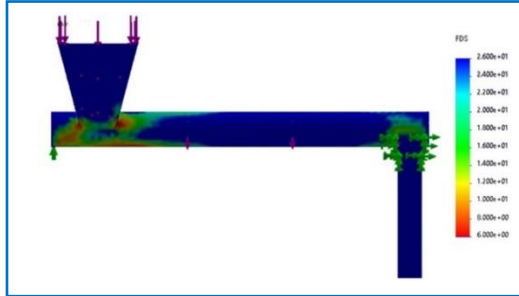


Figura 15. Mapa de colores factor de seguridad.

DEFLEXIONES O DESPLAZAMIENTOS

Tomando un espesor de 2.5 mm, la deformación máxima por carga puntual es de $y_W = -0.06219$ mm más la deflexión por carga distribuida de $y_w = -0.1446$ mm, da una deflexión máxima de $y_{total} = -0.2068$ mm con una carga debida a la densidad de $2500 \frac{kg}{m^3}$, como lo muestra la Figura 23 y el mapa de contornos de SolidWorks de la Figura 16,

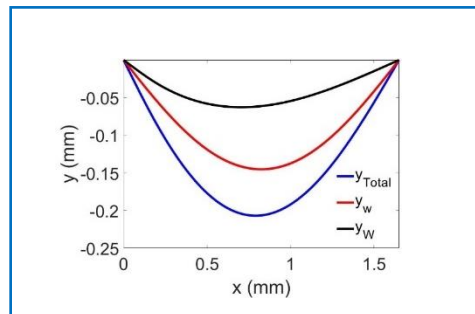


Figura 16. Deflexión de la viga por el método de superposición.

donde y_w es la deformación debida a la carga distribuida y y_W es la deformación debida a la carga puntual y y_{total} es la deformación resultante de la suma de las dos anteriores como se observa en la Figura 17.

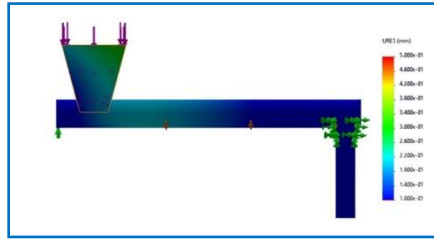


Figura 17. Mapa de colores de desplazamientos o deflexión.

DEFORMACIÓN UNITARIA

La deformación unitaria representa la deformación puntual a la que está sometido cada nodo por cada unidad de longitud, con un valor máximo de 0.0001 mm de deformación, como se expresa en el mapa de contornos de la Figura 18.

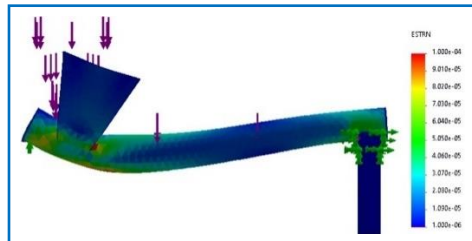


Figura 18. Mapa de colores de deformación unitaria.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Analizando los valores tanto calculados como los que demuestra el programa SolidWorks, se puede hacer una comparativa de dichos valores de esfuerzos, factor de seguridad y deformación, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de resultados entre el programa SolidWorks y el calculado por mecánica de materiales.

Parámetro	SolidWorks	Calculado
$\sigma_{Von Mises}$	0 – 24 Mpa	11 Mpa
FS	0 – 8	7.8
y_{max}	-0.22 mm	-0.2068 mm

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se propuso un sistema de impresión de concreto poroso de bajo revenimiento basado en un tornillo sinfín, y se desarrolló un análisis numérico para validar su diseño mediante simulaciones de elementos finitos y las ecuaciones de Von Mises en flexión. El análisis mostró esfuerzos en el rango de 0–24 MPa, siendo la condición más crítica un esfuerzo promedio de 11 MPa, coincidente con el cálculo por mecánica de materiales.

Se obtuvieron valores para el factor de seguridad entre 6.66 – 25.7, que representan un diseño con un factor de seguridad elevado, que se validó por el tipo de carga al que va a estar sometido. Tomando la carga máxima del concreto se realiza con un factor de carga de 2, adicional al factor de seguridad para asegurar una larga vida a los materiales.

Las deflexiones son similares de -0.22 mm en el método de elemento finito y -0.2068 mm en la mecánica de materiales. De esta manera se comprueba que el diseño con estas características soporta las cargas determinadas, con un material AISI 1010, cuya resistencia en el límite elástico es de 180 MPa.

Se podría realizar una optimización para un trabajo futuro del diseño haciéndolo más ligero al bajar el factor de seguridad, sin embargo, para el presente trabajo se logra validar que el diseño propuesto soportará las cargas del concreto para la impresora. Además, se considera el control del posicionamiento de los actuadores y sus ejes de acción con la finalidad de lograr un sistema automatizado.

REFERENCIAS

- Ahmed, G. H., Gao, Y., Chen, H., Jiao, H., Dong, M., Bier, T. A., y Kim, M. (2023). A review of "3D concrete printing": Materials and process characterization, economic considerations and environmental sustainability. *Journal of Building Engineering*, 66: 105863. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.105863>
- ASTM International. (2020). ASTM C143/C143M-20: Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete. ASTM International. https://www.astm.org/c0143_c0143m-20.html
- Bákit, M. C. S., Bolaños, E. P., Jiménez, J. J., y Flores, M. M. (2021). Drones y tecnología como elementos claves en la gestión de procesos constructivos: una revisión de literatura. *Technology Inside by CPIC*, 6: 1–15.

- CEMEX. (2022, septiembre 29). CEMEX first to bring 3D printing with concrete to Mexico [Comunicado de prensa]. CEMEX, S.A.B. de C.V. <https://www.cemex.com/w/cemex-first-to-bring-3d-printing-with-concrete-to-mexico>
- Chen, H., Zhang, D., Chen, P., Li, N., y Perrot, A. (2023). A review of the extruder system design for large-scale extrusion-based 3D concrete printing. *Materials*, 16(7): 2661. <https://doi.org/10.3390/ma16072661>
- COBOD International. (2022). D.fab in detail [Página técnica]. COBOD International. <https://cobod.com/solution/materials/dfab/details/>
- Duarte Gutiérrez, N. J., y col. (2021). Stress design approach of a screw conveyor for a specific flow rate. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 11(11, Serie I): 42–50.
- Figueroa-Díaz, R. A., Balvantín-García, A. D. J., Diosdado de la Peña, J. Á., Cruz-Alcantar, P., Murillo-Verduzco, I., y Pérez-Olivas, P. A. (2019). Stress analysis in a screw conveyor axis under a specific fault condition. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 20(3): e031. <https://doi.org/10.22201/ii.01877157p.2019.20.3.031>
- Lugo, F. J. F. (2015). Aplicación de la filosofía Lean Manufacturing en un proceso de producción de concreto. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 4(15): 7–24.
- Lyu, Q., Dai, P., y Chen, A. (2023). Sandwich-structured porous concrete manufactured by mortar-extrusion and aggregate-bed 3D printing. *Construction and Building Materials*, 392: 131909. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131909>
- Phung Van, B., Phan Binh, H., Duc Hai, T., y Tung, P. D. (2023). Tính toán thiết kế và tối ưu hóa kết cấu khung máy in 3D bê tông kích thước lớn dạng cổng trực. *Journal of Science and Technique*, 18(1): 38–54.
- Polychronopoulos, N. D., Sarris, I. E., y Vlachopoulos, J. (2024). Flow analysis of screw extrusion in three-dimensional concrete printing. *Physics of Fluids*, 36(2): 023110. <https://doi.org/10.1063/5.0193235>
- Rahman, S. A., Shaikh, F. U. A., Kumar, P., Sarker, S. K., y Sobuz, M. H. (2024). A study on rheology and mechanical performance of lithium slag incorporated sustainable 3D printed concrete. *Construction and Building Materials*, 418:126–139. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.127654>
- Si, W., Khan, M., y McNally, C. (2025). A comprehensive review of rheological dynamics and process parameters in 3D concrete printing. *Journal of Composites Science*, 9(6): 299. <https://doi.org/10.3390/jcs9060299>
- Trieu, D. K., Nguyen, A. T., Ta, D. H., y Akoto, R. A. (2025). Development of an automatic program for dynamics analysis of 3D concrete printer frame with flexible links. *Journal of Science and Technique*, 20(2): 45–60.

- Yang, L., Gao, Y., Chen, H., Jiao, H., Dong, M., Bier, T. A., y Kim, M. (2024). Three-dimensional concrete printing technology from a rheology perspective: a review. *Advances in Cement Research*, 36(12): 567–586. <https://doi.org/10.1680/adcr.23.00045>
- Yu, W., Zou, D., Li, D., Wang, Q., y Peng, P. (2024). Development of models relating screw conveying capacity of concrete to operating parameters and their use in conveyor operating strategies to consider batch production. *Applied Sciences*, 14(14): 6351. <https://doi.org/10.3390/app14146351>

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: USO Y RETOS EN ESTUDIANTES DE MEDICINA. DISEÑO TRANSVERSAL

ARTIFICIAL INTELLIGENCE: USE AND CHALLENGES IN MEDICAL STUDENTS. CROSS-SECTIONAL DESIGN

ESQUIVEL MUÑOZ, Gilberto¹

DOMÍNGUEZ ROMO, Kenia¹

MORLET CHÁVEZ, Jesús A.¹

CEPEDA NIETO, Ana Cecilia¹

FLORES, Carmen Adelaida¹

MAURICIO BENAVIDES, Juan Enrique¹

MENESES SIERRA, Eduardo²

RESUMEN

Introducción. La inteligencia artificial (IA) innovó múltiples actividades en educación médica y benefició la atención personalizada del paciente. Sin embargo, su implementación plantea importantes retos éticos y legales. **Materiales y métodos.** -Se realizó un estudio observacional, transversal y cuantitativo, del 28 de marzo al 30 de julio 2025, en 430 estudiantes de la Facultad de Medicina Unidad Saltillo (FMUS). Se utilizó un muestreo no probabilístico. Previo consentimiento informado, se aplicó una encuesta que evaluó los datos personales del alumno, así como los usos y retos en la IA. **Objetivo:** identificar los usos y los retos que enfrentan los estudiantes de medicina en la aplicación de la IA. **Resultados.** - Respondió la encuesta el 84.41%, mujeres 63.9 %. Los softwares más utilizados son: ChatGPT (85.95%), Gemini (22.86%) y Grammarly (14.04%). Estos se utilizan de forma regular a muy frecuente en actividades académicas como la búsqueda bibliográfica (44.65%), la traducción de textos (41.62%) e investigación (40.23%). Los estudiantes perciben como regular o muy fácil de enfrentar los siguientes retos: implementarla como asignatura (75.48%), capacitación docente (61.15%), implementar la normatividad y la regulación (55.92%) y capacitación ética-legal (49.31%). **Conclusiones.** ChatGPT es el software preferido de los estudiantes de medicina, aunque su uso en actividades académicas está limitado. No obstante, el estudiante considera factible implementar la IA como asignatura en el plan de estudios, siempre que se lleve a cabo dentro de un programa global que incluya la capacitación de docentes y alumnos, la infraestructura adecuada y la formación en aspectos éticos y legales.

Palabras clave: inteligencia artificial; estudiante de medicina; educación.

1. Facultad de Medicina,
Universidad Autónoma de
Coahuila, Saltillo,
Coahuila, México.

2. Hospital General, Instituto de
Seguridad y Servicios Sociales de
los Trabajadores del Estado,
Saltillo, Coahuila, México.

Correspondencia
gilbertoesquivel@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0000-9288-8489>

Fecha de recepción
9 de septiembre de 2025.

Fecha de aceptación
10 de noviembre de 2025.

ABSTRACT

Introduction. Artificial Intelligence (AI) has advanced multiple aspects of medical education and enabled personalised patient care. However, its implementation poses significant ethical and legal challenges. Materials and Methods. An observational, cross-sectional, and quantitative study was conducted from March 28 to July 30, 2025, among 430 students from the Saltillo University School of Medicine (FMUS). Non-probability sampling was used. After obtaining informed consent, a survey was administered to evaluate students' personal data, use, and challenges with AI. Objective. - To identify uses and challenges faced by medical students in the application of AI. Results. - 84.41 % responded to the survey, 63.9 % were women. The most commonly used software programs are: ChatGPT (85.95 %), Gemini (22.86 %), and Grammarly (14.04 %). These are used regularly to very frequently in academic activities such as bibliographic search (44.65 %), text translation (41.62 %), and research (40.23 %). Students perceive the following challenges as fairly to very easy to address: implementing it as a subject (75.48 %), teacher training (61.15 %), implementing regulations and standards (55.92 %), and ethical and legal training (49.31%). Conclusions: ChatGPT is the preferred software among medical students, although its use in academic activities is limited. However, students consider it feasible to implement AI as a subject in the curriculum, provided it is integrated into a comprehensive program that includes teacher and student training, adequate infrastructure, and training in ethical and legal aspects.

Keywords: artificial intelligence; medical student; education.

INTRODUCCIÓN

La IA comenzó en 1943 con el modelo de neurona artificial de McCulloch y Pitts. En 1956, John McCarthy acuñó el término "Inteligencia artificial" y en 1964, Joseph Weizenbaum desarrolló el primer chatbot. A partir de 1986 se desarrollan algoritmos para redes neuronales, seguido del exponencial desarrollo de la IA (Abeliuk, 2021). Con la creación de sofisticados software y robots (González-Pérez y col., 2024). Este progreso reformó y revolucionó la educación médica (Ajalo y col., 2025). Basado en tecnologías fundamentales como



- Machine Learning (aprendizaje automático), sistema de autoaprendizaje y de predicción (Forero-Corba y Negre Bennasar, 2023).
- Deep learning (aprendizaje profundo) es un sistema de múltiples capas funcional que maneja grandes volúmenes de datos (LeCun y col., 2015).
- Robotic skills training (Adquisición de habilidades robóticas). Un robot realiza cirugías semejantes al humano (Feizi y col., 2021).
- Virtual Reality (Realidad virtual) ambientes simulados para el aprendizaje (Nagi y col., 2023).

Esta tecnología facilitó el análisis, la redacción y la presentación de textos (Dergaa y col., 2023). Así como en investigación, agilizó la búsqueda, la gestión bibliográfica y la redacción de documentos (Jhajj y col., 2024). En ello, los estudiantes utilizaron un software muy popular: ChatGPT (Younis y col., 2024). Una herramienta con múltiples aplicaciones académicas y con capacidad de autoaprendizaje (Gutiérrez-Cirlos y col., 2023). Sin embargo, se alertó sobre el uso indebido de la IA, que conlleva riesgos (Avila-Tomas y col., 2020; Ávila-Tomas y col., 2021). Por ejemplo, sesgos, privacidad deficiente de los datos y posible dependencia (Sriram y col., 2025). Debido a esto, en México se instauró la normatividad para uso en el área de la Salud (Comisión Nacional de Bioética, 2023) y recomendaciones para su aplicación en publicaciones académicas (Zielinski y col., 2023). Además de los beneficios que aportó la IA, el aprendizaje de tecnologías complejas supuso un desafío para el estudiante (González-González, 2023; Li & Qin, 2023). Así como los aspectos éticos y legales en su aplicación (García-Peñalvo y col., 2023). Hechos que provocaron ansiedad y frustración (Lin & Chen, 2024). Sin embargo, mantuvo una actitud positiva durante la adquisición de conocimientos (Caparrós Galán, 2022; Özbek Güven y col., 2024).

Ante este contexto, se ha cuestionado la preparación del estudiante para aplicar la IA y tomar decisiones (AlZaabi y col., 2023). Incluso investigadores como Rincón y col. (2025) sugieren que esta temática se integre al currículo debido a su relevancia en la educación médica. De igual manera, se ha estimado que forma parte del plan de estudios (Kimmerle y col., 2023; Tung & Dong, 2023). Sin embargo, la integración de la IA a nivel educativo superior aún no presenta condiciones propicias en infraestructura y capacitación (Vázquez García & Rea Chávez, 2025). En tal sentido, Alshanberi y col.



(2024) consideran que la capacitación en IA en las facultades de medicina es obligatoria para formar profesionales médicos de mayor calidad.

Respecto al trabajo docente, la IA mejoró la preparación, la presentación y la evaluación de contenidos didácticos (Díaz Vera y col., 2024). Sin embargo, Benavides-Lara (2025) refiere que el docente aplica la IA en menor medida que el alumno en la búsqueda bibliográfica. Lo que evidencia la importancia de la capacitación en IA a este nivel (Jurado-Enríquez y col., 2025).

El rápido y progresivo avance de la IA ha transformado la educación médica, mediante la multiplicidad de herramientas tecnológicas como el aprendizaje automático, el aprendizaje profundo, robots, etc., que facilitan y mejoran la enseñanza y el aprendizaje del estudiante. Sin embargo, enfrentan desafíos éticos y legales importantes. El presente estudio pretende llenar un vacío al conocer la percepción del alumno, la experiencia de uso y las necesidades respecto de la IA en el contexto de la FMUS. Con ello, contribuir a la implementación de la IA y a mejorar el proceso de formación educativa.

La pregunta de la presente investigación es: ¿Cuáles son los usos y los retos que enfrentan los estudiantes de medicina en la aplicación de la IA?

Como objetivo general, se planteó identificar los usos y los retos que enfrentan los estudiantes de medicina en la aplicación de la IA. Para lograrlo se propuso identificar la frecuencia con la que los alumnos de medicina utilizan software de la IA y dispositivos electrónicos en actividades académicas; explorar la percepción que tienen los alumnos sobre el impacto de la IA en la creatividad y trabajo cognitivo humano; analizar la percepción sobre 4 retos fundamentales que enfrentan los estudiantes en el uso de la IA: implementarla como asignatura en el plan de estudios, capacitación de docentes y alumnos, formación en aspectos éticos y legales e implementarla en la normatividad y regulación universitarias.

Desde la segunda mitad del siglo XX, particularmente a partir de las ideas planteadas por Feynman y su posterior desarrollo experimental en las décadas de 1980 y 1990, la nanotecnología ha evolucionado hacia una disciplina que permite diseñar materiales con propiedades específicas como lo son las nanopartículas, transformando sectores entre los que destacan: la medicina (Ramsden, 2016), la energía y, más recientemente, la agricultura (Lira Saldivar, 2016). En este último ámbito, Lira Saldivar (2016) señala que sus aplicaciones incluyen el desarrollo de insumos más eficientes, la

optimización en el uso de recursos naturales y la mejora en la protección de cultivos. En países como México, donde la agricultura desempeña un papel estratégico (Delgado, 2008; Villegas y col., 2024) tanto en lo económico como en lo ambiental, estas innovaciones representan una alternativa para enfrentar los desafíos asociados al deterioro de suelos, el uso intensivo del agua y la presión sobre la biodiversidad (Terán-Samaniego y col., 2025).

Hablando de los campos de aplicación de la nanotecnología, estos son vastos y diversos, extendiéndose más allá de la ciencia básica hacia la medicina, la electrónica, la energía, la agricultura y el medio ambiente (Cuenca, 2017). En la medicina, por ejemplo, los nanomateriales como los hidróxidos dobles laminares (Figura 1) permiten desarrollar sistemas de liberación de fármacos capaces de llegar con precisión a células específicas, como las cancerosas, minimizando los efectos secundarios en tejidos sanos. En la electrónica, la miniaturización impulsada por la nanotecnología ha permitido crear dispositivos cada vez más pequeños, rápidos y eficientes, marcando el ritmo del avance en la computación cuántica y los dispositivos móviles (Ramsden, 2016). En el campo energético, se desarrollan materiales que mejoran la eficiencia de las células solares y baterías, permitiendo almacenar y generar energía de manera más sostenible (Kamat, 2019). Incluso en la agricultura y el medio ambiente, la nanotecnología ofrece soluciones para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes y pesticidas (Kah y col., 2019), así como para la remediación de suelos y aguas contaminadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de tipo observacional, transversal y descriptivo del 28 de marzo al 30 de julio de 2025, en 430 estudiantes de licenciatura en medicina de la FMUS, con edades de 17 años o más, hombres y mujeres. Se aplicó una encuesta vía correo electrónico institucional, previo consentimiento informado, que incluyó 44 ítems en tres ejes: datos personales del alumno, usos y retos que enfrentan en relación con la IA. La información se analizó en el programa SPSS v22. Variables cuantitativas discretas con medidas de tendencia central y dispersión; variables cualitativas con frecuencias, porcentajes y tablas cruzadas; y significancia estadística con Chi-cuadrado de Pearson (NC 95 %, $\alpha \leq 0.05$ %) (Tinoco-Gómez, 2008). El alfa de Cronbach reportó = 0.720, el cual se considera aceptable (González Alonso & Pazmiño Santacruz, 2015). El estudio está de acuerdo con las normas éticas internacionales sobre

proyectos de investigación en seres humanos y con el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud en México, que establece un riesgo mínimo y cumple con los 4 principios básicos: autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia. Se respetó la confidencialidad y el anonimato (Cámara de Diputados, 2014).

RESULTADOS

Durante el ciclo escolar enero-junio 2025, la FMUS inscribió 430 alumnos; respondió la encuesta el 84.41 %, con edades entre 17-28 años (\bar{x} =20.3, s =1.94). Hombres: 36.1 %; mujeres: 63.9 %. De los alumnos, 74 % son originarios de Coahuila y 26 % trabaja. Antes de ingresar a la universidad, 35 % manejó la IA, mientras que 32.8 % la aprendió en la universidad. En cuanto a los docentes, 67.76 % no fomentan el uso de la IA y el 73.6% no la utilizan en clase. La Tabla 1 muestra que ChatGPT (72.55 %) y Gemini (19.30 %) son los softwares que más frecuentemente utilizan los estudiantes de medicina, sin diferencias por género.

Tabla 1. Uso del software de IA según el género del estudiante.

Uso del software	Género		Total	p
	Hombre n (%)	Mujer n (%)		
ChatGPT	116 (37.2)	196 (62.8)	312	.284
Gemini	35 (42.2)	48 (57.8)	83	.189
Gboard*	14 (60.9)	9 (39.1)	23	.011
DALLE3	8 (50.0)	8 (50.0)	16	.236
Grammarly	17 (33.3)	34 (63.7)	51	.659
Midjourney	4 (36.4)	7 (63.6)	11	.985
Aithor*	2 (10.5)	17 (89.5)	19	.017
Quillbot	7 (29.2)	17 (70.8)	24	.465
Otras*	33 (46.5)	38 (53.5)	71	.042
Total	124 (36.25)	218 (63.74)	342	

*Diferencia estadísticamente significativa $p \leq 0.05$ %

La Tabla 2 muestra que los estudiantes de medicina aplican software de IA en las actividades académicas de manera regular a muy frecuentemente en: búsqueda bibliográfica (44.65 %), traducción de textos (41.62 %) e investigación (40.23 %).

Tabla 2. Uso de software de IA en actividades académicas.

	Nada n (%)	Poco n (%)	Regular n (%)	Frecuente n (%)	Muy frecuente n (%)
Investigación	103 (28.4%)	87 (24%)	75 (20.7%)	50 (13.8%)	48 (13.2%)
Búsqueda bibliográfica	103 (28.4%)	68 (18.7%)	80 (22.0%)	55 (15.2%)	57 (15.7%)
Traducción de textos	114 (31.4%)	70 (19.3%)	70 (19.3%)	37 (10.2%)	72 (19.8%)
Redacción de textos	131 (36.1%)	80 (22.0%)	70 (19.3%)	32 (8.8%)	50 (13.8%)
Generación de imágenes	205 (56.5%)	57 (15.7%)	45 (12.4%)	25 (6.9%)	31 (8.5%)
Corrección gramatical	176 (48.5%)	45 (12.4%)	55 (15.2%)	32 (8.8%)	55 (15.2%)

Tabla 3. Aplicación de la IA en las actividades escolares según el género.

	Frecuencia	Hombre n (%)	Mujer n (%)
Investigación*	Nada	34 (9.4%)	69 (19.0%)
	Poco	28 (7.7%)	59 (16.3%)
	Regular	27 (7.4%)	48 (13.2%)
	Frecuente	24 (6.7%)	26 (7.2%)
	Muy frecuente	18 (5.0%)	30 (8.3%)
	Total	131 (36.1%)	232 (63.9%)
Búsqueda bibliográfica*	Nada	36 (9.9%)	67 (18.5%)
	Poco	22 (6.1%)	46 (12.7%)
	Regular	32 (8.8%)	48 (13.2%)
	Frecuente	21 (5.8%)	34 (9.4%)
	Muy frecuente	20 (5.5%)	37 (10.2%)
	Total	131 (36.1%)	232 (63.9%)
Traducción de textos*	Nada	48 (13.2%)	66 (18.2%)
	Poco	23 (6.3%)	47 (12.9%)
	Regular	23 (6.3%)	47 (12.9%)
	Frecuente	10 (2.8%)	27 (7.4%)
	Muy frecuente	27 (7.4%)	45 (12.4%)
	Total	131 (36.1%)	232 (63.9%)
Redacción de textos*	Nada	51 (14.0%)	80 (22.0%)
	Poco	29 (8.0%)	51 (14.0%)
	Regular	20 (5.5%)	50 (13.8%)
	Frecuente	11 (3.0%)	21 (5.8%)
	Muy frecuente	20 (5.5%)	30 (8.3%)
	Total	131 (36.1%)	232 (63.9%)
Generar imágenes*	Nada	72 (19.8%)	133 (36.6%)
	Poco	18 (5.0%)	39 (10.7%)
	Regular	14 (3.9%)	31 (8.5%)
	Frecuente	12 (3.3%)	13 (3.6%)
	Muy frecuente	15 (4.1%)	16 (4.4%)
	Total	131 (36.1%)	232 (63.9%)
Corrección gramatical*	Nada	58 (16.0%)	118 (32.5%)
	Poco	18 (5.0%)	27 (7.4%)
	Regular	19 (5.2%)	36 (9.9%)
	Frecuente	12 (3.3%)	20 (5.5%)
	Muy frecuente	24 (6.6%)	31 (8.5%)
	Total	131 (36.1%)	232 (63.9%)

En la Tabla 3 se observa que los alumnos aplican los softwares de IA en las actividades escolares con la misma frecuencia, independientemente del género; sin embargo, no se observaron diferencias significativas.

Mientras que los dispositivos electrónicos que los alumnos utilizan con mayor frecuencia para realizar actividades escolares con la IA son el celular y la tablet (Tabla 4).

Tabla 4. Frecuencia en el uso de dispositivos electrónicos en tareas escolares.

		Hombre n (%)	Mujer n (%)
Smartphone. **	Nada	3 (0.8)	7 (1.9)
	Muy poco	17 (4.7)	31 (8.5)
	Poco	23 (6.3)	39 (10.7)
	Regular	28 (7.7)	39 (10.7)
	Frecuente	15 (4.1)	26 (7.2)
	Muy frecuente	45 (12.4)	90 (24.8)
	Total	131 (36.1)	232 (63.9)
Laptop. **	Nada	5 (1.4)	14 (3.9)
	Muy poco	35 (9.6)	58 (16.0)
	Poco	21 (5.8)	38 (10.5)
	Regular	19 (5.2)	36 (9.9)
	Frecuente	18 (5.0)	27 (7.4)
	Muy frecuente	33 (9.1)	59 (16.6)
	Total	131 (36.1)	232 (63.9)
Tablet. **	Nada	8 (2.2)	14 (3.2)
	Muy poco	55 (15.2)	70 (19.2)
	Poco	12 (3.3)	29 (8.0)
	Regular	18 (5.0)	35 (9.6)
	Frecuente	13 (3.6)	20 (5.5)
	Muy frecuente	25 (6.9)	64 (17.6)
	Total	131 (36.1)	232 (63.9)
Computadora de escritorio. *	Nada	7 (1.9)	18 (5.0%)
	Muy poco	91 (25.1)	182 (50.1)
	Poco	9 (2.5)	14 (3.9)
	Regular	9 (2.5)	11 (3.0)
	Frecuente	6 (1.7)	2 (0.6)
	Muy frecuente	9 (2.5)	5 (1.4)
	Total	131 (36.1)	232 (63.9)

* $\chi^2 = p \leq 0.05$ ** $\chi^2 = p \geq 0.05$

Al comparar la frecuencia con que los alumnos de primero y quinto año utilizan software de IA, se observa que el software de IA más utilizado, ChatGPT, se utiliza por igual en ambos grados académicos. El único software que sobresale es Quillbot, con menor uso entre los alumnos de quinto año (Tabla 5).

Tabla 5. Frecuencia con la que los alumnos de primer y quinto año usan software de IA.

Software IA	Primer año		Quinto año		P
	Sí n (%)	No n (%)	Sí n (%)	No n (%)	
ChatGPT	70 (89.7)	8 (10.3)	59 (86.8)	9 (13.2)	.576
Gemini	14 (17.9)	64 (82.1)	13 (19.1)	55 (80.9)	.856
Google Board	5 (6.4)	73 (93.6)	6 (8.8)	62 (91.2)	.582
DALL-E-3	2 (2.6)	76 (97.4)	3 (4.4)	65 (95.6)	.664
Grammarly	17 (21.8)	61 (78.0)	10 (14.7)	58 (85.3)	.271
Midjourney	3 (3.8)	75 (96.2)	2 (2.9)	66 (97.1)	.565
Aithor(a)	6 (7.7)	72 (92.3)	3 (4.4)	65 (95.6)	.320
Quillbot*	11 (14.1)	67 (85.9)	2 (2.9)	66 (97.1)	.018

(a) =2 casillas (50 %) valor esperado < 5. Evaluado mediante la prueba exacta de Fisher.

*estadísticamente significativo $p \leq 0.05\%$.

En cuanto al riesgo para el ser humano que representa la IA, se observa que las mujeres, a diferencia de los hombres, consideran que afecta el desarrollo cognitivo al ser desplazadas en el uso de las funciones mentales por una máquina (Tabla 6).

Tabla 6. Percepción según el género de que la IA limita la creatividad y el trabajo humano al sustituirlo una máquina.

La IA limita la creatividad y el trabajo humano	Hombre n (%)	Mujer n (%)	Total
Mínimo	35 (9.6)	39 (10.7)	74 (20.4)
Bajo	26 (7.2)	40 (11.0)	66 (18.2)
Promedio	21 (5.8)	68 (18.7)	89 (24.5)
Alto	24 (6.6)	38 (10.5)	62 (17.1)
Máximo	25 (6.9)	47 (12.9)	72 (19.8)
		232 (63.9)	363 (100.0)

χ^2 de Pearson = 10.609, gl = 4, $p = .031$

Un aspecto de este estudio es la percepción que tienen los alumnos respecto a los riesgos asociados al uso de la IA: en este sentido, 50 % de los alumnos considera que representan un riesgo para el ser humano; 36.4 % no lo sabe y solo 13.5 % refiere que no representan un riesgo. Aunado a lo anterior,

cabe destacar que 52.91 % de los estudiantes considera que la universidad no tiene las condiciones propicias para que se implemente la IA, 25.1 % menciona que se requieren cambios básicos en infraestructura y personal, únicamente 22 % considera que es sencillo y fácil la implementación de la IA en la universidad. Ante esto, solo 38.3 % de los alumnos refiere estar interesado en que la universidad le imparta cursos sobre la IA.

En este contexto, los retos que el alumno percibe en la incorporación de la IA en la educación son principalmente: implementarla como asignatura (75.48%), capacitación docente (61.15%), implementar la normatividad y la regulación (55.92%) y, por último, capacitación ético-legal (49.31 %) sin diferencias por género (X^2 de Pearson, $p \geq 0.05$ %). Además, no se encontraron diferencias entre alumnos de primer y quinto año de la licenciatura en medicina en la implementación de la asignatura de I.A. en el plan curricular de la licenciatura en medicina. (Chi cuadrado de Pearson, valor 7.607, $p = 0.107$).

DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio muestran que ChatGPT es el software de IA más utilizado por los estudiantes de medicina, seguido por Gemini. Lo que está de acuerdo con lo reportado por Elhassan y col. (2025). Pero en dicho estudio se encontró predominio en hombres y nosotros una distribución semejante en ambos grupos. En cuanto al uso en áreas de la medicina Fattah y col. (2025) identificaron que ChatGPT es más específico que Gemini, salvo en situaciones de emergencia. Sin embargo, no se han realizado estudios concretos sobre los resultados (Shool y col., 2025). Por otra parte, se encontró que la búsqueda bibliográfica es la actividad académica que el estudiante realiza con la IA. Lo cual concuerda con lo referido por Aguirre Flórez (2025), quien agregó que además favoreció el aprendizaje. Llama la atención lo reportado por Benavides-Lara (2025) en relación con la mayor utilización en alumnos que en docentes, lo cual es contrario al sentido común. Se considera que hay una diversidad de factores que favorecen el uso más frecuente de ChatGPT, como, por ejemplo, la difusión publicitaria, el idioma en español y la facilidad de los jóvenes para manejarlo, entre otros.

En relación con el uso de dispositivos para trabajar con la IA, se encontró que los dispositivos móviles son los más utilizados. Lo que también reportó Roque

Rodríguez (2025) en su estudio. Esto se explicaría por la facilidad de movilización para realizar las actividades académicas en horarios discontinuos. La rápida y progresiva llegada de la IA a las universidades generó temores y percepciones de riesgo entre los estudiantes. Sin embargo, Navarrete Cochancela y col. (2025) refiere que la mejor aceptación de la IA por los alumnos se asoció con la adquisición de conocimientos sobre ella. Tocante al factor de riesgo que representa la IA en el ámbito cognitivo humano, las mujeres, comparadas con los hombres, perciben un mayor riesgo, lo que sugiere que se deba a una mayor sensibilidad y a un aspecto cultural de la automatización en la educación médica. Para la integración de la IA en la formación médica, se requiere que las universidades mejoren las condiciones de infraestructura, normatividad y regulación (Barragán, 2025). Al igual que establezcan un equilibrio entre el avance tecnológico, los beneficios, las consecuencias legales y psicológicas, y la adaptación a una nueva forma de vida para el ser humano (Domínguez, 2025). En relación con los retos de la integración de la IA en la formación académica, nuestro estudio sugiere que es fundamental invertir en infraestructura y programas de capacitación.

CONCLUSIONES

A pesar de ser ChatGPT el software más utilizado por estudiantes de medicina, tiene limitaciones en actividades académicas, como obtener los beneficios de las múltiples aplicaciones o funciones como redactar, corrección ortográfica y traducción. Se considera que el mayor uso de este tipo de software se ve influido por la diversidad de funciones que aporta, la especialización obtenida, el manejo de grandes volúmenes de datos y más, lo que favorece la integración de la IA en la educación médica. Es conveniente realizar estudios sobre los factores que influyen en la utilización y el uso que los estudiantes hacen de estas herramientas tecnológicas. Por lo tanto, es fundamental generar programas enfocados en el proceso de implementación de la IA en la educación médica que incluyan los retos identificados por la comunidad estudiantil.

REFERENCIAS

- Abeliuk, A., & Gutiérrez, C. (2021). Historia y evolución de la inteligencia artificial. *Revista Bits de Ciencia*, 21: 14-21. <https://doi.org/https://doi.org/10.71904/bits.vi21.2767>
- Aguirre Flórez, M., Gómez González, J., Jiménez Osorio, L., Moreno Gómez, M., Moreno Gómez, J., Rojas Paguanquiza, K., Rojas Paguanquiza, D., Quintero Cabrera, Y., Pantoja Chazatar, L., y Moreno Gómez, G. (2025). Uso de la inteligencia artificial en la educación médica: ¿herramienta o amenaza? Revisión de alcance. *Investigación en Educación Médica*, 14(53): 90-106. <https://doi.org/10.22201/fm.20075057e.2025.53.24659>
- Ajalo, E., Mukunya, D., Nantale, R., Kayemba, F., Pangholi, K., Babuya, J., Langoya Akuu, S., Namiiro, A. M., Nsubuga, Y. B., Mpagi, J. L., Musaba, M. W., Oguttu, F., Kuteesa, J., Mubuuke, A. G., Munabi, I. G., y Kiguli, S. (2025). Widespread use of ChatGPT and other Artificial Intelligence tools among medical students in Uganda: A cross-sectional study. *PloS One*, 20(1): 1-13 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313776>
- Alshanberi, A. M., Mousa, A. H., Hashim, S. A., Almutairi, R. S., Alrehali, S., Hamisu, A. M., Shaikhomer, M., & Ansari, S. A. (2024). Knowledge and Perception of Artificial Intelligence among Faculty Members and Students at Batterjee Medical College. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 16(Suppl 2): S1815-s1820. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_1162_23
- AlZaabi, A., AlMaskari, S., & AalAbdulsalam, A. (2023). Are physicians and medical students ready for artificial intelligence applications in healthcare? *Digit Health*, 9: 1-11. <https://doi.org/10.1177/20552076231152167>
- Avila-Tomas, J. F., Mayer-Pujadas, M. A., & Quesada-Varela, V. J. (2020). [Artificial intelligence and its applications in medicine I: introductory background to AI and robotics]. *Atención Primaria*, 52(10): 778-784. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.013> (La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: introduccion antecedentes a la IA y robotica.)
- Ávila-Tomas, J. F., Mayer-Pujadas, M. A., & Quesada-Varela, V. J. (2021). Artificial intelligence and its applications in medicine II: Current importance and practical applications. *Atencion Primaria*, 53(1): 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.014>
- Barragán, G. Á. V., Ballesteros, H. F. V., Massuh, E. M. D. L. L., & Flor, D. A. L. (2025). Impacto de la inteligencia artificial en la transformación de los procesos de enseñanza aprendizaje en la educación superior. *Revista Tribunal*, 5(12): 1-20. <https://doi.org/10.59659/revistatribunal.v5i12.190>
- Benavides-Lara, M., Cazales, V. J. R., Rivas, N. E., Hernández, A. M. D. P. M., & Mendiola, M. S. (2025). Presencia y uso de la inteligencia artificial generativa en la Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista Digital Universitaria*, 26(1): 1-16. <https://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2025.26.1.10>



- Comisión Nacional de Bioética (2023). *Bioética de la inteligencia artificial en salud*. México: 1-8. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/832082/Bio_tica_de_la_inteligencia_artificial_Junio2023.pdf
- Caparrós Galán, G., & Sendra Portero, F. (2022). Medical students' perceptions of the impact of artificial intelligence in radiology. *Radiología*, 64(6): 516-524. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rxeng.2021.03.008>
- Dergaa, I., Chamari, K., Zmijewski, P., & Ben Saad, H. (2023). From human writing to artificial intelligence generated text: examining the prospects and potential threats of ChatGPT in academic writing. *Biology of Sport*, 40(2): 615-622. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.125623>
- Díaz Vera, J. P., Molina Izurieta, R., Bayas Jaramillo, C. M., & Ruiz Ramírez, A. K. (2024). Asistencia de la inteligencia artificial generativa como herramienta pedagógica en la educación superior. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 12(26): 61-76. <https://doi.org/10.36825/riti.12.26.006>
- Cámara de Diputados. (2014). *Reglamento de la ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud*. México: 1-31 https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGS_MIS.pdf
- Domínguez, B. C. (2025). Implicaciones éticas de la inteligencia artificial generativa en la educación superior: Una revisión sistemática. *Horizonte Académico*, 5(1): 289-307. <https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n1.83>
- Elhassan, S. E., Sajid, M. R., Syed, A. M., Fathima, S. A., Khan, B. S., & Tamim, H. (2025). Assessing Familiarity, Usage Patterns, and Attitudes of Medical Students Toward ChatGPT and Other Chat-Based AI Apps in Medical Education: Cross-Sectional Questionnaire Study. *JMIR Med Educ*, 11: 1-8. <https://doi.org/10.2196/63065>
- Fattah, F. H., Salih, A. M., Salih, A. M., Asaad, S. K., Ghafour, A. K., Bapir, R., Abdalla, B. A., Othman, S., Ahmed, S. M., Hasan, S. J., Mahmood, Y. M., & Kakamad, F. H. (2025). Comparative analysis of ChatGPT and Gemini (Bard) in medical inquiry: a scoping review. *Front Digit Health*, 7: 1-7 <https://doi.org/10.3389/fgdth.2025.1482712>
- Feizi, N., Tavakoli, M., Patel, R. V., & Atashzar, S. F. (2021). Robotics and AI for Teleoperation, Tele-Assessment, and Tele-Training for Surgery in the Era of COVID-19: Existing Challenges, and Future Vision. *Front Robot AI*, 8: 610-677 <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.610677>
- Forero-Corba, W., & Negre Bannasar, F. (2023). Técnicas y aplicaciones del Machine Learning e Inteligencia Artificial en educación: una revisión sistemática. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 27(1): 209-253. <https://doi.org/10.5944/ried.27.1.37491>

- García-Peñalvo, F. J., Llorens-Largo, F., & Vidal, J. (2023). La nueva realidad de la educación ante los avances de la inteligencia artificial generativa. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 27(1): 9-39. <https://doi.org/10.5944/ried.27.1.37716>
- González-González, C. S. (2023). El impacto de la inteligencia artificial en la educación: transformación de la forma de enseñar y de aprender. *Revista Currículum*.(36): 51-60. <https://doi.org/10.25145/j.qurricul.2023.36.03>
- Gonzalez-Perez, Y., Montero-Delgado, A., & Martinez-Sesmero, J. M. (2024). [Translated article] Introducing artificial intelligence to hospital pharmacy departments. *Farm Hosp*, 48 Suppl 1: TS35-TS44. <https://doi.org/10.1016/j.farma.2024.04.001>
- González Alonso, J., & Pazmiño Santacruz, M. (2015). Cálculo e interpretación del Alfa de Cronbach para el caso de validación de la consistencia interna de un cuestionario, con dos posibles escalas tipo Likert. *Rev. Publicando*, 2(1): 62-67. <https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/42382>
- Gutiérrez-Cirlos, C., Carrillo-Pérez, D. L., Bermúdez-González, J. L., Hidrogo-Montemayor, I., Carrillo-Esper, R., & Sánchez-Mendiola, M. (2023). ChatGPT: oportunidades y riesgos en la asistencia, docencia e investigación médica. *Gaceta Medica de México*, 159(5): 382-389. <https://doi.org/10.24875/gmm.230001671>
- Jhajji, K. S., Jindal, P., & Kaur, K. (2024). Use of Artificial Intelligence Tools for Research by Medical Students: A Narrative Review. *Cureus*, 16(3): 1-10 <https://doi.org/10.7759/cureus.55367>
- Jurado-Enríquez, E. L., Vargas-Prado, K. F., Melgarejo Ángeles, W. E., Aniceto Norabuena, Ú. R., & Villacorta Granados, T. G. (2025). Inteligencia artificial generativa en el proceso de enseñanza del docente universitario. *European Public & Social Innovation Review*, 10: 1-15. <https://doi.org/10.31637/epsir-2025-1612>
- Kimmerle, J., Timm, J., Festl-Wietek, T., Cress, U., & Herrmann-Werner, A. (2023). Medical Students' Attitudes Toward AI in Medicine and their Expectations for Medical Education. *J Med Educ Curric Dev*, 10: 1-3. [https://doi.org/DOI 10.1177/23821205231219346](https://doi.org/DOI%2010.1177/23821205231219346)
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553): 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Li, Q., & Qin, Y. (2023). AI in medical education: medical student perception, curriculum recommendations and design suggestions. *BMC Medical Education*, 23(1): 852. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04700-8>
- Lin, H., & Chen, Q. (2024). Artificial intelligence (AI) -integrated educational applications and college students' creativity and academic emotions: students and teachers' perceptions and attitudes. *BMC Psychol*, 12(1): 1-16 <https://doi.org/10.1186/s40359-024-01979-0>

- Nagi, F., Salih, R., Alzubaidi, M., Shah, H., Alam, T., Shah, Z., & Househ, M. (2023). Applications of Artificial Intelligence (AI) in Medical Education: A Scoping Review. *Studies in Health Technology and Informatics*, 305: 648-651. <https://doi.org/10.3233/SHTI230581>
- Navarrete Cochancela, J. A., Nuñez Zamora, W. R., Viscarra Armijos, L. B., Cedillo Fajardo, M., & Cedeño Cedeño, R. J. (2025). Percepción de la inteligencia artificial como amenaza o aliada en la formación profesional de los universitarios. *Prohominum. Revista de Ciencias Sociales y Humanas.*, 7(2): 123-136. <https://doi.org/10.47606/acven/ph0337>
- Özbek Güven, G., Yilmaz, Ş., & Inceoğlu, F. (2024). Determining medical students' anxiety and readiness levels about artificial intelligence. *Heliyon*, 10(4): 1-7 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25894>
- Rincon, E. H. H., Jimenez, D., Aguilar, L. A. C., Florez, J. M. P., Tapia, A. E. R., & Penuela, C. L. J. (2025). Mapping the use of artificial intelligence in medical education: a scoping review. *BMC Medical Education*, 25(1): 526. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07089-8>
- Roque Rodriguez, E., Roque Ramos, E. G. (2025). Uso de inteligencia artificial en estudiantes de pregrado: aprendizaje basado en preguntas. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 15(30): 1-22 <https://doi.org/10.23913/ride.v15i30.2310>
- Shool, S., Adimi, S., Saboori Amlashi, R., Bitaraf, E., Golpira, R., & Tara, M. (2025). A systematic review of large language model (LLM) evaluations in clinical medicine. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 25(1): 117. <https://doi.org/10.1186/s12911-025-02954-4>
- Sriram, A., Ramachandran, K., & Krishnamoorthy, S. (2025). Artificial Intelligence in Medical Education: Transforming Learning and Practice. *Cureus*, 17(3): 1-10 <https://doi.org/10.7759/cureus.80852>
- Tinoco-Gómez, O. (2008). Una aplicación de la prueba chi cuadrado con SPSS. [Investigación original]. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 11(1): 73-77. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81611211011.pdf>
- Tung, A. Y. Z., & Dong, L. W. (2023). Malaysian Medical Students' Attitudes and Readiness Toward AI (Artificial Intelligence): A Cross-Sectional Study. *J Med Educ Curric Dev*, 10: 1-8 <https://doi.org/10.1177/23821205231201164>
- Vázquez García, J. I., & Rea Chávez, L. G. (2025). Retos y desafíos de implementar la Inteligencia Artificial en el entorno académico superior: un estudio exploratorio. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(2): 2367-2385. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i2.3773>



Younis, H. A., Eisa, T. A. E., Nasser, M., Sahib, T. M., Noor, A. A., Alyasiri, O. M., Salisu, S., Hayder, I. M., & Younis, H. A. (2024). A Systematic Review and Meta-Analysis of Artificial Intelligence Tools in Medicine and Healthcare: Applications, Considerations, Limitations, Motivation and Challenges. *Diagnostics*, 14 (1):109. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14010109>

Zielinski, C., Winker, M. A., Aggarwal, R., Ferris, L. E., Heinemann, M., Lapena, J. F., Jr., Pai, S. A., Ing, E., Citrome, L., Alam, M., Voight, M., & Habibzadeh, F. (2023). Chatbots, generative AI, and scholarly manuscripts: WAME recommendations on chatbots and generative artificial intelligence in relation to scholarly publications. *Colomb Med (Cali)*, 54(3): 1-13. <https://doi.org/10.25100/cm.v54i3.5868>

AVANCES RECIENTES EN LA INTERACCIÓN CAROTENOIDE-PROTEÍNA LÁCTEA: MECANISMOS Y APLICACIONES

RECENT ADVANCES IN CAROTENOID–MILK PROTEIN
INTERACTION: MECHANISMS AND APPLICATIONS

OCHOA VIÑALS, Nayra¹

GUERRERO SUÁREZ, Alondra¹

PEDRAZA CASTILLO, Paola¹

ALONSO ESTRADA, Dania¹

RAMOS GONZÁLEZ, Rodolfo²

GARCÍA CRUZ, Ariel¹

TORRES ROSABAL, Daylin³

GOVEA SALAS, Mayela¹

MICHELENA ÁLVAREZ, Georgina³

ILINÁ, Anna¹

RESUMEN

Las proteínas de la leche presentan un alto potencial de interacción con carotenoides gracias a la presencia de dominios hidrofóbicos en sus sitios de unión. De forma natural, solo una pequeña fracción de los carotenoides se asocia a estas proteínas. Se ha demostrado que esta interacción constituye una estrategia eficaz para mejorar la solubilidad y proteger estos compuestos frente a la oxidación. Esta revisión aborda los mecanismos de interacción entre carotenoides y proteínas lácteas, considerando el efecto de factores como la temperatura, el pH y la fuerza iónica, así como las propiedades intrínsecas de ambos componentes en la afinidad de unión. En conjunto, esta interacción se perfila como una alternativa prometedora para el desarrollo de alimentos funcionales enriquecidos con compuestos bioactivos. La presente revisión ofrece una visión actualizada y crítica que sienta las bases para futuras investigaciones orientadas al aprovechamiento biotecnológico de las interacciones carotenoide–proteína láctea en el diseño de alimentos funcionales de alta estabilidad y valor nutricional.

Palabras clave: interacción; proteína de la leche; carotenoides.

ABSTRACT

Milk proteins exhibit a high potential for interaction with carotenoids due to the presence of hydrophobic domains in their binding sites. Naturally, only a small fraction of carotenoids is associated with these proteins. It has been demonstrated that this interaction represents an effective strategy for improving

1. Grupo de Nanobiocienci. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México.
2. CONAHCYT, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México.
3. Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), La Habana, Cuba.

Correspondencia

annailina@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-5349-2852>

Fecha de recepción
9 de septiembre de 2025.

Fecha de aceptación
5 de noviembre de 2025.

solubility and protecting these compounds against oxidation. This review addresses the mechanisms underlying carotenoid–milk protein interactions, considering the influence of factors such as temperature, pH, and ionic strength, as well as the intrinsic properties of both components on binding affinity. Overall, this interaction emerges as a promising alternative for developing functional foods enriched with bioactive compounds. The present review provides an updated and critical overview that lays the groundwork for future research on the biotechnological exploitation of carotenoid–milk protein interactions to design functional foods with high stability and nutritional value.

Keywords: *interaction; milk protein; carotenoids.*

I. INTRODUCCIÓN

La demanda de ingredientes saludables y de una mayor calidad nutricional en los alimentos es una preocupación global para las industrias alimentarias, los consumidores y las agencias gubernamentales (Paiva y col., 2020). Para responder a esta tendencia del mercado, las industrias han invertido en el desarrollo de alimentos funcionales y nutracéuticos que puedan ofrecer beneficios para la salud y reducir el riesgo de determinadas enfermedades (Roy y col., 2025). El desarrollo de estos productos funcionales, con frecuencia, se basa únicamente en la suplementación de matrices alimentarias preformuladas con un compuesto bioactivo o en el diseño de mezclas que intentan imitar alimentos naturales, como en el caso de las fórmulas infantiles (Day y col., 2009). Entre los compuestos bioactivos más utilizados con este propósito se encuentran los minerales, las vitaminas, los péptidos bioactivos, los compuestos fenólicos y los carotenoides (Rehman y col., 2023). Su variabilidad estructural dificulta el desarrollo de estrategias universales para su aplicación en la formulación de alimentos. Su incorporación en productos alimentarios presenta varias desventajas, como su escasa solubilidad en agua, un sabor intensamente marcado y una baja estabilidad durante el procesamiento y el almacenamiento, lo cual dependerá de la naturaleza química de la molécula (Tavares y col., 2014). La solución debe considerar tanto las propiedades del compuesto bioactivo como las de los demás componentes de la matriz alimentaria.

Los carotenoides son pigmentos naturales lipofílicos, generalmente de color amarillo, naranja y rojo, que se encuentran distribuidos en vegetales, frutas,

ciertos tipos de microalgas y hongos. También pueden encontrarse en animales, aunque estos no son capaces de producir dichos compuestos, sino que los obtienen a través de la alimentación. Una característica importante de la estructura de este grupo de moléculas es su sistema de dobles enlaces conjugados (Figura 1) el cual es responsable de la absorción de luz en la región ultravioleta-visible, así como de su capacidad antioxidante, la cual se traduce en su habilidad para estabilizar radicales libres y desactivar el oxígeno singlete.

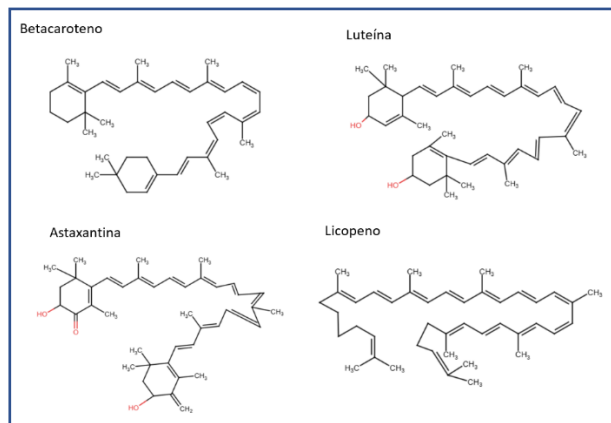


Figura 1. Estructuras químicas de los carotenoides

Numerosos estudios han demostrado los potenciales beneficios para la salud asociados con la ingesta de carotenoides, tales como la actividad provitamínica A, la mejora del sistema inmunológico y de las funciones cognitivas, el efecto antiinflamatorio, y la reducción del riesgo de desarrollar enfermedades crónicas como la degeneración macular asociada a la edad y las cataratas (Eggersdorfer y Wyss, 2018). No obstante, los carotenoides pueden sufrir cambios estructurales durante el procesamiento y el almacenamiento de los alimentos, lo que a menudo afecta negativamente su bioactividad y su color (Barba y col., 2017). Debido a su naturaleza lipofílica, durante el desarrollo de productos alimenticios formulados, los carotenoides suelen incorporarse a la fracción lipídica; sin embargo, pueden surgir problemas de solubilidad en productos libres de grasa, ya que tienden a agregarse fácilmente a medios acuosos (Hempel y col., 2016). La unión de los carotenoides a proteínas alimentarias constituye una estrategia prometedora para superar las dificultades mencionadas anteriormente.

En la leche, los carotenoides suelen encontrarse dispersos en los glóbulos de grasa, y aunque una cantidad mínima de ellos se une de forma natural a las

proteínas lácteas, estas últimas han sido señaladas como las más adecuadas para establecer interacciones con los carotenoides. Una de las razones de esta elección es que las proteínas de la leche son reconocidas como vehículos naturales capaces de transportar nutrientes esenciales desde la madre al recién nacido. Además, constituyen matrices alimentarias naturales ampliamente disponibles, con estatus GRAS (generalmente reconocidas como seguras) y alto valor nutricional (Tavares y col., 2014). Por ello, diversos estudios se han enfocado en la interacción entre estas proteínas y compuestos bioactivos, en especial aquellos hidrofóbicos, como los carotenoides y los ácidos grasos, así como con vitaminas lipofílicas (Tang, 2021). Las interacciones hidrofóbicas suelen ser las principales fuerzas en la unión entre proteínas lácteas y moléculas hidrofóbicas como las mencionadas, aunque también pueden intervenir fuerzas de van der Waals y enlaces de hidrógeno, dependiendo de la naturaleza química de las moléculas involucradas y de las condiciones de reacción (Allahdad y col., 2018). Así, varios factores intrínsecos y extrínsecos determinarán el equilibrio de unión entre los carotenoides y las proteínas de la leche, por lo que su control resulta esencial para reducir el empirismo en el desarrollo de nuevos productos alimentarios que contengan ambas moléculas. En este contexto, en la presente revisión se discuten los factores intrínsecos y extrínsecos que favorecen la interacción entre carotenoides y proteínas lácteas, así como las principales ventajas con potencial tecnológico de la unión entre carotenoides y proteínas de la leche.

II. CARACTERÍSTICAS DE LOS CAROTENOIDES

Los carotenoides constituyen una extensa familia de más de 1100 pigmentos naturales, presentes en una gran diversidad de organismos como plantas, algas, hongos y bacterias. Químicamente, se clasifican en dos grandes grupos: carotenos, compuestos exclusivamente por átomos de carbono e hidrógeno como el β -caroteno (β -car), y xantófilas, que integran al menos un átomo de oxígeno en su estructura molecular, como la luteína y la zeaxantina. Esta diferencia química confiere a las xantófilas una polaridad ligeramente mayor, lo que a su vez modula sus interacciones con proteínas y otras biomoléculas, especialmente a través de enlaces de hidrógeno.

La estructura fundamental de los carotenoides consiste en una cadena tetraterpenoide de 40 carbonos (C40) derivada del fitoeno, que puede ser lineal o cíclica en uno o ambos extremos, dando lugar a carotenoides cíclicos

y acíclicos. En el caso de las xantófilas, es habitual encontrarlas en forma de ésteres con ácidos grasos, principalmente en frutos, donde la longitud y el grado de insaturación de estos ácidos afectan su reactividad y propiedades fisicoquímicas.

Entre los carotenoides, una subclase importante son los apocarotenoides, moléculas derivadas de la reducción del esqueleto carbonado mediante la eliminación de fragmentos terminales. Un ejemplo destacado es la bixina, un apocarotenoide de 25 átomos de carbono exclusivo de las semillas de achiote (*Bixa orellana* L.). Como colorante alimentario natural, la bixina exhibe un notable potencial antioxidante, actuando como quencher de oxígeno singlete y estados de tripletes de sensibilizadores. Su estructura presenta un doble enlace cis, un grupo carboxílico en un extremo y un éster metílico en el otro; en contraste, su análogo norbixina, con ambos grupos carboxílicos libres, muestra mayor solubilidad en entornos acuosos. Estas características estructurales permiten que, a diferencia de la mayoría de los carotenoides, las interacciones electrostáticas sean relevantes para la unión de bixina y norbixina a proteínas, condición clave para su funcionalidad biológica y farmacológica.

Desde una perspectiva fisiológica, los carotenoides son compuestos lipofílicos que desempeñan un papel esencial en la fotosíntesis y la pigmentación vegetal, responsables de los colores amarillo y rojo en muchas flores y frutos. En mamíferos, destacan por su capacidad antioxidante, actividad antiinflamatoria e inmunomoduladora. Particularmente, ciertos carotenos, como el β -caroteno, actúan como provitamina A, importante para funciones vitales como la visión, el crecimiento y la homeostasis de los tejidos epiteliales.

Las xantófilas luteína y zeaxantina son fundamentales para la salud humana, ya que se acumulan en la mácula de la retina, formando un pigmento que filtra la luz azul perjudicial y protege contra el daño fotoquímico. Su ingesta adecuada ha sido asociada con una reducción significativa del riesgo de degeneración macular con edad. Más allá del sistema visual, estas xantófilas están presentes en el tejido cerebral, donde niveles elevados se correlacionan con un mejor rendimiento cognitivo, mientras que su deficiencia se asocia con enfermedades neurodegenerativas, incluido el Alzheimer.

En conjunto, las diferencias químicas y estructurales entre carotenos, xantófilas y apocarotenoides determinan sus propiedades de solubilidad, polaridad y modalidad de interacción con macromoléculas, lo que incide directamente en

sus actividades biológicas y potencial terapéutico. Estas moléculas bioactivas se perfilan como componentes clave en estrategias nutricionales y farmacológicas orientadas a mitigar el estrés oxidativo, modular las respuestas inflamatorias y proteger las funciones visuales y cognitivas.

III. PROTEÍNAS LÁCTEAS CARACTERÍSTICAS E INTERACCIÓN CON CAROTENOS

Las proteínas de la leche se clasifican en dos fracciones principales: las caseínas y las proteínas del suero. Dentro de estas últimas, las más abundantes son la α -lactoalbúmina (α -La) y la β -lactoglobulina (β -Lg). Ambas pertenecen a la familia de las lipocalinas, caracterizadas por su alta afinidad por ligandos hidrofóbicos pequeños, como carotenoides, ácidos grasos y vitamina D (Yang y col., 2023).

Las caseínas, que representan aproximadamente el 80 % del total proteico de la leche, son fosfoproteínas ácidas con marcada naturaleza anfifílica. Se encuentran organizadas de forma natural en estructuras supramoleculares denominadas micelas de caseína, con un diámetro hidrodinámico aproximado de 200 nm. Estas micelas poseen un núcleo formado por agregados de α s1-caseína (α s1-Cas), α s2-caseína (α s2-Cas) y β -caseína (β -Cas), estabilizados principalmente mediante interacciones hidrofóbicas y por nanoclústeres de fosfato de calcio. La superficie micelar está cubierta por la κ -caseína (κ -Cas), que desempeña un papel esencial en la estabilidad coloidal del sistema. El tamaño de las micelas puede variar entre 50 y 600 nm, y la proporción molar de α s1-, α s2-, β - y κ -caseína es de aproximadamente 4:1:4:1.3. Las subunidades están unidas mediante enlaces de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y puentes de calcio-fosfato (Runthala y col., 2023).

A partir de estas micelas, es posible obtener estructuras alternativas, como los caseinatos (por ejemplo, caseinato de sodio), mediante precipitación isoelectrónica seguida de neutralización. En estas estructuras, el tamaño hidrodinámico disminuye hasta cerca de 65 nm (Nunes y Tavares, 2019), lo que incrementa su área superficial y mejora su capacidad de interacción con moléculas hidrofóbicas, una propiedad relevante en la formación de complejos con carotenoides.

Las caseínas pueden interactuar con una amplia variedad de compuestos bioactivos mediante mecanismos de interacción hidrofóbicos, hidrofílicos y electrostáticos (Estevinho y Rocha, 2018). Diversos estudios han caracterizado con precisión las interacciones entre caseínas y carotenoides, lo que permite comprender mejor su potencial como sistemas de transporte y protección de compuestos lipofílicos. La mayoría de las investigaciones sobre sistemas de liberación basados en caseína se han centrado en aspectos como la eficiencia de encapsulación, la determinación de constantes de afinidad, los cambios estructurales inducidos por la formación de complejos, la estabilidad en condiciones de almacenamiento y su incorporación en matrices alimentarias. Por ejemplo, se ha reportado que la caseína se une al β -caroteno con una constante de afinidad de 10^4 M^{-1} en una estequiometría 1:1, y esta interacción se ve favorecida por pH alcalino, baja fuerza iónica y temperaturas elevadas. Entre las fracciones de caseína, la κ -Cas presenta la mayor afinidad por el β -caroteno, la cual se explica principalmente por fuerzas de van der Waals (Allahdad y col., 2018).

Por su parte, la β -Lg es una proteína globular de 162 residuos, con una masa molecular de 18400 Da y un punto isoeléctrico cercano a pH 5.0 (Madureira y col., 2007). Su estructura terciaria de la β -Lg está compuesta por un barril β , ocho láminas β antiparalelas y una hélice α de tres giros, estabilizada por dos enlaces disulfuro. Además, presenta un grupo sulfhídrico libre en la posición Cys-121 y tres sitios de unión a ligandos hidrofóbicos: la cavidad central (cáliz), la hendidura entre la hélice α y el barril β , y la interfaz entre monómeros. La afinidad de unión varía en función del pH; a valores superiores a 7.0, se expone el centro activo y se favorece la incorporación de ligandos al núcleo hidrofóbico (Le Maux y col., 2014). La β -Lg es una de las proteínas más estudiadas por su capacidad para transportar compuestos lipofílicos como carotenoides, vitaminas y ácidos grasos (Møller y col., 2020). La α -lactoalbúmina, la segunda proteína más abundante del suero bovino, posee una estructura con cuatro puentes disulfuro, sin grupos tioles libres, dividida en dos dominios unidos por un lazo de fijación de calcio (Thompson y col., 2009). Su estructura incluye un bolsillo hidrofóbico, responsable de su capacidad para unirse a ligandos no polares como los carotenoides (Delavari y col., 2015; Ursache y col., 2017).

La albúmina sérica bovina (BSA), otra proteína globular presente en el suero, está formada por tres dominios helicoidales separados por nueve lazos y diecisiete puentes disulfuro (Thompson y col., 2009). Contiene dos residuos

de triptófano (Trp), uno de los cuales se encuentra en una cavidad hidrofóbica (Mohan y col., 2018). Por su similitud estructural con la albúmina sérica humana y su capacidad para transportar fármacos y compuestos bioactivos, la BSA ha sido ampliamente utilizada en estudios de interacción proteína-ligando (Allahdad y col., 2019).

IV. FACTORES QUE AFECTAN LA UNIÓN CAROTENO CON PROTEÍNA DE LA LECHE

La interacción entre proteínas lácteas y carotenoides ha sido objeto de numerosos estudios, en los que se reconoce la influencia de diversos factores que determinan su estabilidad y afinidad, entre los que destacan el plegamiento proteico y la estructura de los carotenoides, en particular la presencia o ausencia de grupos polares y su estado de agregación (monomérico o agregado). Asimismo, parámetros ambientales como la temperatura, el pH, la concentración y la naturaleza de las sales o iones presentes se han representado en la Figura 2 como moduladores claves de estas asociaciones. Investigaciones recientes que incluyen análisis espectroscópicos, estudios de acoplamiento molecular y evaluaciones funcionales en sistemas modelo, han permitido ampliar la comprensión de los mecanismos. Diversos autores han enfatizado no solo los factores fisicoquímicos que regulan la afinidad de unión, sino también las consecuencias estructurales y funcionales que dichas interacciones pueden tener sobre la estabilidad de los complejos proteína-carotenoide (Moran y col., 2018; Mora-Gutiérrez y col., 2018).

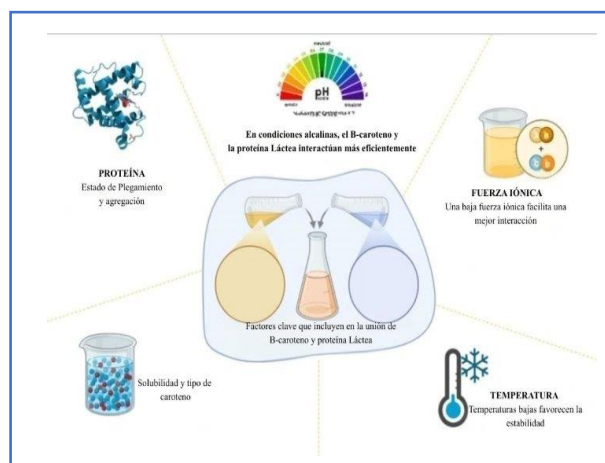


Figura 1. Esquema de factores que intervienen en la interacción proteína lácteas –carotenoide.

4.1 CONFORMACIÓN PROTEICA EN LA UNIÓN CON CAROTENOIDES

El estado conformacional de la proteína es un factor que influye en la interacción. Un leve desdoblamiento (desnaturalización parcial) puede exponer parches hidrofóbicos adicionales, lo que favorece la unión con carotenoides. Sin embargo, un desdoblamiento intenso seguido de una agregación proteica puede bloquear los sitios de unión, reduciendo la afinidad. Silva y col. (2018) registraron una disminución de la constante de afinidad (K_a) de la interacción β -caroteno-BSA tras un tratamiento térmico (80 °C durante 10 min). Pequeñas variaciones en la secuencia aminoacídica y estructura pueden modificar drásticamente la afinidad de unión a carotenoides. Un estudio de Mora-Gutiérrez y col. (2018) comparó caseínas caprinas y bovinas y encontró que la constante de unión de la luteína a las caseínas caprinas fue al menos 3.57 veces mayor que la de las bovinas, reflejando diferencias estructurales que impactan la interacción proteína-carotenoide.

La afinidad de unión con carotenoides no depende únicamente del grado de hidrofobicidad total, sino que varía según la accesibilidad o exposición real de estos dominios hidrofóbicos. Por ejemplo, Allahdad y col. (2018) reportaron las K_a para el β -car con algunas caseínas bovinas: α -caseína (α -Cas) $1.57 \times 10^4 M^{-1}$, β -caseína $0.04 \times 10^4 M^{-1}$, y κ -caseína $3.01 \times 10^4 M^{-1}$. Sin embargo, β -caseína, aunque es la más hidrofóbica, mostró la menor afinidad de unión con β -car. Este comportamiento se atribuye al autoensamblaje de las colas hidrofóbicas de la β -caseína, que bloquean los sitios de unión para el carotenoide, fenómeno que no se observó en otras caseínas.

4.2 EFECTO DE PH, TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN SALINA EN LA UNIÓN PROTEÍNAS LÁCTEAS-CAROTENOIDES

La concentración y naturaleza de las sales presentes en el microambiente proteico son factores determinantes de la conformación estructural y de las propiedades fisicoquímicas de las proteínas. Además de los efectos asociados al fenómeno de "salting-in" y "salting-out", la incorporación de iones cosmotrópicos o caotrópicos en sistemas dispersos de proteínas puede

modular de manera diferenciada su estabilidad conformacional, actuando como agentes estabilizadores o desestabilizadores, según el caso. Estudios de Paiva y col. (2020) evaluaron la influencia de las sales sobre la interacción entre la BSA y la luteína. Los autores reportaron que la adición de cloruro de sodio (NaCl), considerado un ion cosmotrópico, promovió la formación de un complejo proteína–ligando de mayor estabilidad en comparación con el sistema sin sal, mientras que el tiocianato de sodio (NaSCN), clasificado como caotrópico, generó un efecto desestabilizador opuesto.

Aprodu y col. (2017) estudiaron el efecto del tratamiento térmico sobre el complejo formado entre β -LG y carotenoides de espino cerval de mar (*Hippophae rhamnoides*). Evaluaron un rango de temperaturas de 25 a 100 °C durante 15 minutos, utilizando espectroscopía de fluorescencia, acoplamiento molecular (docking) y simulaciones de dinámica molecular. Ellos concluyeron que a temperaturas superiores a 80 °C ocurre un desdoblamiento parcial de la conformación de la proteína, resultado consistente con lo reportado por van den Oever y col. (2021), quienes observaron la desnaturalización térmica de la β -LG a 78 °C en un tampón fosfato 0.7 M (pH 6).

Allahdad y col. (2019) analizaron las interacciones moleculares entre β -caroteno y diversas proteínas séricas, incluyendo caseína, β -LG, α -lactoalbúmina y BSA, observando que la afinidad de unión aumentó con el pH, la temperatura y la fuerza iónica. Las interacciones hidrofóbicas fueron las principales responsables de la estabilización del complejo, siendo la β -LG la que mostró mayor afinidad por el β -caroteno, seguida por la BSA y la α -Lac. Estudios cristalográficos indicaron que el β -caroteno se une al subdominio IIA de la BSA, a los residuos aromáticos del grupo II de la α -Lac, y en el cáliz de la β -LG. Se concluyó que esta interacción induce cambios conformacionales en las estructuras secundaria y terciaria de las proteínas séricas.

Allahdad y col. (2020) observaron que tanto la caseína micelar como el aislado de proteína de suero (WPI) incrementaron la solubilidad del β -caroteno entre 2.7 y 3.6 veces, dependiendo de la relación proteína: carotenoide y del pH del medio. Este efecto se atribuyó principalmente a interacciones hidrofóbicas entre el núcleo de las micelas y la molécula de caroteno, lo que facilita su incorporación en medios acuosos sin recurrir a disolventes orgánicos.



La elevada sensibilidad de los carotenoides a la luz, el oxígeno y la temperatura los convierte en compuestos particularmente inestables durante el procesamiento y almacenamiento. En este contexto, las proteínas lácteas actúan como una barrera protectora gracias a sus estructuras supramoleculares. Los complejos formados con caseína y WPI han demostrado reducir significativamente la fotodegradación y la oxidación del β -caroteno, especialmente bajo condiciones de pH alcalino y baja fuerza iónica (Allahdad y col., 2020). Asimismo, la encapsulación disminuye la exposición del carotenoide a radicales libres y al ambiente, preservando su funcionalidad por periodos prolongados.

Sęczyk y Świdorski (2016) comprobaron que la interacción de luteína con proteínas lácteas incrementó su estabilidad química incluso en condiciones de almacenamiento prolongado, efecto atribuido a la localización de la molécula en regiones hidrofóbicas protegidas dentro de la matriz proteica.

Wu y col. (2021) propusieron el uso de proteosomas, estructuras nanométricas constituidas por fosfolípidos lácteos, WPI y caseinato de sodio, que alcanzaron eficiencias de encapsulación superiores al 90% y una biodisponibilidad in vitro mayor al 85% del β -caroteno. Además, estos sistemas mostraron una liberación sostenida y una elevada resistencia a condiciones gastrointestinales simuladas, características esenciales para aplicaciones nutracéuticas.

Wang y col. (2020) desarrollaron emulsiones de β -caroteno estabilizadas con un complejo ternario formado por β -LG, ácido ferúlico y quitosano (BFCC), sintetizado mediante una reacción de acoplamiento mediada por carbodiimida e inducción con lacasa. Los resultados mostraron que la emulsión estabilizada por BFCC presentó alta estabilidad fisicoquímica frente a diferentes condiciones ambientales.

Pispas y col. (2024) sintetizaron nanopartículas compuestas por sulfato de condroitina y BSA para inmovilizar β -caroteno. Mediante dispersión de neutrones de ángulo pequeño (SANS), caracterizaron la morfología interna de las nanopartículas y concluyeron que la unión del β -caroteno ocurre preferentemente en la superficie externa de las nanopartículas. Esto sugiere que las sustancias bioactivas hidrofóbicas pueden interactuar con la proteína BSA, restringiéndose principalmente a la región superficial.

Liu y col. (2018) sintetizaron un nanocomplejo de astaxantina y β -LG (Ax- β -LG), recubierto con quitosano, mediante autoensamblaje espontáneo favorecido por interacciones de afinidad y fuerzas electrostáticas. Estos nanocomplejos formaron esferas homogéneas de 40–60 nm de diámetro con alta estabilidad coloidal. Los estudios de acoplamiento molecular revelaron que las fuerzas predominantes en la formación del complejo Ax- β -LG fueron los enlaces de hidrógeno, fuerzas de van der Waals e interacciones hidrofóbicas.

Estos estudios demuestran que tanto los factores intrínsecos (estructura de la proteína, naturaleza del carotenoide) como extrínsecos (temperatura, pH, fuerza iónica) juegan un papel crucial en la estabilidad y eficiencia de unión entre carotenoides y proteínas lácteas, con implicaciones directas en el diseño de sistemas de liberación controlada y matrices alimentarias funcionales.

V. DESAFÍOS Y ESTRATEGIAS PARA FORTIFICAR ALIMENTOS CON CAROTENOIDES

El desarrollo de alimentos enriquecidos con carotenoides presenta desafíos significativos debido a la baja biodisponibilidad, solubilidad y estabilidad de estos compuestos. Para crear un producto comercialmente viable y beneficioso para la salud del consumidor, es crucial entender y superar estas limitaciones, entre las que se pueden destacar las siguientes:

Biodisponibilidad vs. Bioaccesibilidad: Es importante diferenciar entre la bioaccesibilidad (la liberación del carotenoide de la matriz alimentaria en el tracto gastrointestinal para su absorción) y la biodisponibilidad (la fracción del carotenoide ingerido que realmente está disponible para funciones fisiológicas). La bioaccesibilidad influye directamente en la biodisponibilidad y, por ende, en la bioactividad del compuesto.

Factores Limitantes: La baja biodisponibilidad de los carotenoides se ve influida por la matriz alimentaria, las interacciones con otros nutrientes y los métodos de procesamiento. Por tal manera que el procesamiento tecnológico de los alimentos puede influir en la bioaccesibilidad de carotenoides, una técnica que reduce el tamaño de gota en emulsiones lácteas, logrando un aumento en la superficie disponible para la acción de enzimas digestivas y,

por ende, mejorando la liberación y absorción de carotenoides, es la homogenización de alta presión, asimismo, el tratamiento térmico, cuando es aplicado en condiciones moderadas, contribuye a liberar carotenoides de la matriz y a mejorar su biodisponibilidad; sin embargo, bajo tratamientos intensos puede acelerar su degradación oxidativa ocasionando una reducción significativamente su aporte nutricional. Por ende, una selección cuidadosa de las condiciones de procesamiento es decisiva para equilibrar la liberación y la estabilidad de estos compuestos bioactivos (Zhang, 2024).

El papel de la matriz alimentaria y la grasa: se propone que el uso de productos lácteos como matriz alimentaria podría ser una estrategia efectiva. El contenido de grasa en los lácteos podría ayudar a superar la baja biodisponibilidad observada en frutas y verduras, facilitando la absorción de los carotenoides, ya que estos compuestos son lipofílicos. Esta estrategia busca aprovechar la popularidad y el consumo masivo de productos lácteos para una entrega más eficiente de los carotenoides al organismo. Los carotenoides son moléculas altamente lipofílicas y susceptibles a la oxidación, lo que limita su solubilidad en matices acuosos y comprometiendo a su estabilidad durante su manejo. La leche como transporte natural, puede ser una buena alternativa ya que ofrece un entorno favorable combinando lípidos y proteínas que interactúan directamente con los carotenoides. Estudios comparativos se logró observar que la leche entera presenta una mayor disposición para favorecer la formación de micelas y solubilización de carotenoides durante la digestión, en contraste con la leche descremada. Esto se debe a que los lípidos lácteos proporcionan los ácidos grasos necesarios para la formación de micelas mixtas intestinales, estructuras esenciales para la absorción de compuestos lipofílicos. Por lo cual, la leche entera se puede optar como una matriz más eficaz que la leche reducida en grasa para aumentar la fracción bioaccesible de carotenoides, dando resultados que destacan particularmente para la luteína, seguida del β -caroteno y, en menor medida, el licopeno (Stephenson, 2021).

La interacción de los carotenoides con proteínas lácteas es una estrategia clave para mejorar su estabilidad y biodisponibilidad. Proteínas como la β -lactoglobulina y la caseína micelar presentan una alta afinidad por carotenoides hidrofóbicos, lo que facilita su incorporación en medios acuosos y reduce fenómenos de agregación. Es decir, la β -lactoglobulina puede comportarse como un portador eficaz, estabilizando carotenoides como el β -caroteno, mientras que la caseína funciona como un reservorio protegiendo a los compuestos frente a la oxidación. Dichas interacciones son sensibles a

factores como el pH y la fuerza iónica, lo que subraya la importancia de controlar las condiciones de formulación para lograr complejos proteína-carotenoide estables y funcionales (Qiao, 2021).

Un aspecto crítico en el diseño de un alimento funcional fortificado con carotenoides es optimizar su absorción. Esto se puede lograr seleccionando una matriz alimentaria adecuada, como los productos lácteos con contenido graso, que ayuden a superar la baja solubilidad y biodisponibilidad inherentes a estos compuestos.

VI. CONCLUSIONES

Las proteínas de la leche han demostrado un gran potencial como sistemas de transporte para carotenoides. La característica más relevante que posibilita esta interacción es la presencia de regiones hidrofóbicas en la estructura proteica, que facilitan la unión con estas pequeñas moléculas también hidrofóbicas. Los estudios recopilados en esta revisión han contribuido a una mejor comprensión de los factores, como la temperatura, el pH, la presencia de sales, entre otros, que favorecen o dificultan dicha interacción, lo cual resulta fundamental para el desarrollo de nuevos productos.

Además de mejorar su estabilidad, los carotenoides pueden beneficiarse de una mayor solubilidad en medios acuosos al interactuar con proteínas lácteas. Sin embargo, son pocos los estudios que han considerado explícitamente la solubilidad de los carotenoides en entornos predominantemente hidrofílicos durante las mediciones experimentales. A esto se suma que la agregación de carotenoides, tanto previa como posterior a la formación del complejo con las proteínas, rara vez ha sido objeto de atención, a pesar de que podría influir significativamente en la afinidad de unión. Comprender la distribución y el comportamiento de estos complejos proteína-carotenoide en alimentos resulta crucial para el diseño de productos funcionales y nutracéuticos. La investigación sobre las interacciones entre proteínas y compuestos bioactivos, en el contexto del diseño de sistemas de liberación más eficientes, constituye un campo en expansión que ofrece amplias oportunidades para la innovación científica y tecnológica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del financiamiento recibido a través de los proyectos CF-2023-G-472 y becas de Doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

REFERENCIAS

- Allahdad, Z., Varidi, M., Zadmard, R., & Saboury, A. A. (2018). Spectroscopic and docking studies on the interaction between caseins and β -carotene. *Food Chemistry*, 255: 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.143>
- Allahdad, Z., Varidi, M., Zadmard, R., Saboury, A. A., & Haertlé, T. (2019). Binding of β -carotene to whey proteins: Multi-spectroscopic techniques and docking studies. *Food Chemistry*, 277: 96-106. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.057>
- Allahdad, Z., Khammari, A., Karami, L., Ghasemi, A., Sirotkin, V. A., Haertlé, T., & Saboury, A. A. (2020). Binding studies of crocin to β -lactoglobulin and its impacts on both components. *Food Hydrocolloids*, 108, 106003. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106003>
- Aprodu, I., Ursache, F.-M., Turturică, M., Râpeanu, G., & Stănciuc, N. (2017). Thermal stability of the complex formed between carotenoids from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) and bovine β -lactoglobulin. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 173: 562-571. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.10.010>
- Barba, F. J., Mariutti, L. R. B., Bragagnolo, N., Mercadante, A. Z., Barbosa-Cánovas, G. V., & Orlén, V. (2017). Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing. *Trends in Food Science & Technology*, 67: 195-206. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.006>
- Day, L., Seymour, R. B., Pitts, K. F., Konczak, I., & Lundin, L. (2009). Incorporation of functional ingredients into foods. *Trends in Food Science & Technology*, 20(9): 388-395. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.05.002>
- Delavari, B., Saboury, A. A., Atri, M. S., Ghasemi, A., Bigdeli, B., Khammari, A., Maghami, P., Moosami-Movahedi, A.A., Haertlé, T., Golaeli, B. (2015). Alpha-lactalbumin: A new carrier for vitamin D3 food enrichment. *Food Hydrocolloids*, 45: 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.017>
- Eggersdorfer, M., & Wyss, A. (2018). Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 652: 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2018.06.001>



- Estevinho, B. N., Rocha, F. (2018). Chapter 7. Application of Biopolymers in Microencapsulation. In: *Handbook of Food Bioengineering, Biopolymers for Food Design*, (Eds: Grumezescu, A.M., Holban, A.M.), Academic Press, NY, Pp. 191–222. doi:10.1016/B978-0-12-811449-0.00007-4
- Hempel, J., Schweiggert, C. N., Leptihn, S., Carle, R., & Schweiggert, R. M. (2016). Structure-related aggregation behavior of carotenoids and carotenoid esters. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 317: 161–174. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2015.10.024>
- Le Maux, S., Dalgleish, D. G., & Horne, D. S. (2014). Caseins: The key to milk and milk products. In: *Milk Proteins: From Expression to Food*. (Ed: de Koning J.H.), American Chemical Society. NY. Pp. 119-142.
- Liu, C., Liu, Z., Sun, X., Zhang, S., Wang, S., Feng, F., Wang, D., & Xu, Y. (2018). Fabrication and Characterization of β -Lactoglobulin-Based Nanocomplexes Composed of Chitosan Oligosaccharides as Vehicles for Delivery of Astaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(26): 6717-6726. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00834>
- Moran, N. E., Mohn, E. S., Hason, N., Erdman, J. W., Jr., & Johnson, E. J. (2018). Intrinsic and extrinsic factors impacting absorption, metabolism, and health effects of dietary carotenoids. *Advances in Nutrition*, 9(4): 465–492. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy025>
- Mora-Gutierrez, A., Attaie, R., Núñez de González, M. T., Jung, Y., Woldesenbet, S., & Marquez, S. A. (2018). Complexes of lutein with bovine and caprine caseins and their impact on lutein chemical stability in emulsion systems: Effect of arabinogalactan. *Journal of Dairy Science*, 101(1): 18-27. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13105>
- Mohan, S., Hemachandran, H., Sneha, P., Doss, C. G. P., Christopher, J. G., Jayaraman, G. (2018). Structural insights into the binding mode and conformational changes of BSA induced by bixin and crocin. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 36(8): 2085–2098. <https://doi.org/10.1080/07391102.2017.1342565>
- Møller, A. H., Wijaya, W., Jahangiri, A., Madsen, B., Joernsgaard, B., Vaerbak, S., der Meeren, P.V., Dalsgaard, T.K. (2020). Norbixin binding to whey protein isolate - alginate electrostatic complexes increases its solubility and stability. *Food Hydrocolloids*, 101:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105559>
- Pispas, I., Spiliopoulos, N., & Papagiannopoulos, A. (2024). Biocompatible Preparation of Beta-Lactoglobulin/Chondroitin Sulfate Carrier Nanoparticles and Modification of Their Colloidal and Hydropathic Properties by Tween 80. *Polymers*, 16(14): 141995. <https://doi.org/10.3390/polym16141995>
- Nunes, L., & Tavares, G. M. (2019). Thermal treatments and emerging technologies: Impacts on the structure and techno-functional properties of milk proteins. *Trends in Food Science & Technology*, 90: 88–99. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.06.004>

- Paiva, P. H. C., Coelho, Y. L., da Silva, L. H. M., Pinto, M. S., Vidigal, M. C. T. R., Pires, A. C. (2020). Influence of protein conformation and selected Hofmeister salts on bovine serum albumin/lutein complex formation. *Food Chemistry*, 305: 125463. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125463>
- Qiao, H., Li, X., Chen, J., Liang, R., & McClements, D. J. (2021). Interaction of carotenoids with milk proteins: Influence on physicochemical stability and bioaccessibility of carotenoids. *Food Hydrocolloids*, 117: 106676. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106676>
- Rehman, A., Tong, Q., Jafari, S. M., Assadpour, E., Shehzad, Q., Aadil, R. M., Iqbal, M.W., Roshed, M.M.A., Mushtaq, B.S., Ashraf, W. (2020). Carotenoid-loaded nanocarriers: A comprehensive review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 275: 102048. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.102048>
- Roy, S., Dora, K.C., Kumar, S., Saklani, P., Muthukumar, A., Fatih Ozogul, F., Harisankar, K. C., Mutum, R. D., Celine Hilda Mary, S., Surasani Dara, P.K (2025) A critical review on technical advances and multifaceted role of carotenoids in human health with special emphasis on metabolic diseases. *Phytochemistry Reviews*, 2025: 1-7. <https://doi.org/10.1007/s11101-025-10156-z>
- Runthala, A., Mbye, M., Ayyash, M., Xu, Y., & Kamal-Eldin, A. (2023). Caseins: Versatility of Their Micellar Organization in Relation to the Functional and Nutritional Properties of Milk. *Molecules*, 28(5): 2023. <https://doi.org/10.3390/molecules28052023>
- Silva, C. E. L., Hudson, E. A., Agudelo, A. J. P., da Silva, L. H. M., Pinto, M. S., do Carmo Hespanhol, M., Ribeiro Barras, F.A., dos Santos Pires, A.C. (2018). β -Carotene and milk protein complexation: A thermodynamic approach and a photo stabilization study. *Food and Bioprocess Technology*, 11(3): 610–620. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2028-7>
- Stephenson, C. B., Yi, F., Wu, Y., & Failla, M. L. (2021). Impact of milk fat and proteins on the bioaccessibility of carotenoids during in vitro digestion of whole milk. *Journal of Dairy Science*, 104(10): 10542–10555. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20248>
- Sęczyk, L., & Świdorski, F. (2016). The effect of protein components on the stability and bioaccessibility of lutein in model protein-based beverages. *Journal of Functional Foods*, 23: 192-202. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.03.003>
- Tang, C. (2021). Strategies to utilize naturally occurring protein architectures as nanovehicles for hydrophobic nutraceuticals. *Food Hydrocolloids*, 112: 106344. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106344>
- Tavares, G. M., Croguennec, T., Carvalho, A. F., & Bouhallab, S. (2014). Milk proteins as encapsulation devices and delivery vehicles: Applications and trends. *Trends in Food Science & Technology*, 37(1): 5–20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.02.008>



- Thompson, A., Boland, M., & Singh, H. (2009). *Milk Proteins: From expression to food*. Academic Press - Elsevier, NY.
- Ursache, M. F., Dumitras, L., Aprodu, I., & Stănciuc, N. (2017). Screening the thermal stability of carotenoids- α lactalbumin complex by spectroscopic and molecular modeling approach. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 54(5): 316–322. <https://doi.org/10.1080/10601325.2017.1294456>
- van den Oever, S.P., Haselmann, A., Schreiner, M., Fuerst-Waltl, B., Zebeli, Q., Mayer, H.K., Knaus, W. (2021). Hay versus silage: Does hay feeding positively affect milk composition? *International Dairy Journal*, 118 (2021), Article 105024. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105024>
- Wang, D., Lv, P., Zhang, L., Yang, S., Wei, Y., Mao, L., Yuan, F., & Gao, Y. (2020). Enhanced Physicochemical Stability of β -Carotene Emulsions Stabilized by β -Lactoglobulin–Ferulic Acid–Chitosan Ternary Conjugate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(31): 8404-8412. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01757>
- Wu, D., Jiao, H., Niu, J., Zhang, Z., & Chen, H. (2021). Physicochemical properties and strength analysis of vitreous encapsulated solids for the safe delivery of β -carotene. *Food Hydrocolloids*, 114: 106883. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106883>
- Yang, H.-H., Wang, X., Li, S., Liu, Y., Akbar, R., & Fan, G.-C. (2023). Lipocalin family proteins and their diverse roles in cardiovascular disease. *Pharmacology & Therapeutics*, 244: 108385. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2023.108385>
- Zhang, Y., Liu, W., Wang, C., & McClements, D. J. (2024). Influence of processing on the stability and bioaccessibility of carotenoids in dairy-based emulsions. *Trends in Food Science & Technology*, 139: 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.02.005>

COMPOSITOS POLIMÉRICOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES TRATADAS CON PLASMA. UNA REVISIÓN

POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH PLASMA-TREATED NATURAL FIBERS: A REVIEW

CRUZ DE LA FUENTE, Víctor Hugo¹

NARRO CÉSPEDES, Rosa Idalia¹

FARÍAS CEPEDA, Lorena¹

SORIA ARGÜELLO, Gustavo²

REYES ACOSTA, Yadira Karina³

CASTAÑEDA FACIO, Adalí Oliva¹

RESUMEN

Se realizó una revisión bibliográfica de forma sistemática de estudios que emplean plasma frío para mejorar la compatibilidad interfacial en compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales (FN). Las FN más estudiadas fueron coco, madera y sisal, combinadas con matrices poliméricas como polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP) y resinas epóxicas. El plasma de oxígeno resultó el tratamiento más común, seguido del de etileno y amonio. Los resultados indican que la funcionalización con plasma mejora significativamente las propiedades mecánicas de los compuestos, promoviendo una mejor adhesión y dispersión entre la fibra y la matriz polimérica.

Palabras clave: compósitos; fibras naturales; plasma; propiedades físico-mecánicas.

1. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México.

2. SECIHTI-Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila, México.

3. Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México.

ABSTRACT

A systematic literature review was conducted on studies that use cold plasma to improve interfacial compatibility in polymer composites reinforced with natural fibers (NF). The most studied NFs were coconut, wood, and sisal, combined with polymer matrices such as low-density polyethylene (LDPE), polypropylene (PP), and epoxy resins. Oxygen plasma emerged as the most common treatment, followed by ethylene and ammonium plasmas. The results indicate that plasma functionalization significantly improves the mechanical properties of the

Correspondencia
rinarro@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-3559-1520>

Fecha de recepción
28 de enero de 2025.
Fecha de aceptación
28 de noviembre de 2025.

composites, promoting better adhesion and dispersion between the fiber and the polymer matrix.

Keywords: *composites; natural fibers; plasma; physicochemical properties.*

INTRODUCCIÓN

La llegada de los plásticos a la humanidad revolucionó la industria, el comercio, la medicina y mejoró la calidad de vida de las personas, ocasionando todo un mercado en torno a los plásticos, al generar innovación y desarrollo. En consecuencia, esta producción en gran escala, ha provocado un incremento desmedido en la cantidad de residuos plásticos, llegando esto a ser un problema global. Anualmente se producen 380 millones de toneladas de plástico (Buteler Micaela, 2019) de los cuales es mínimo lo que se llega a reciclar. Por lo que, con base en las tendencias políticas y sociales, así como los 17 objetivos que deben ser cumplidos para el 2030 del desarrollo sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), (Organización de las Naciones Unidas 2015), estas dan la pauta para la búsqueda de soluciones y alternativas que ayuden a atenuar las consecuencias de la contaminación por plásticos y al menor impacto ambiental, con el fin de que los materiales con potencial comercial sean más amigables con el medio ambiente (Luna y col., 2022). Es posible el logro de estos objetivos, mediante mejoramiento de procesos industriales, síntesis química más sustentable y compósitos formulados a partir de refuerzos extraídos de fuentes naturales en forma de fibra para la obtención de compósitos poliméricos reforzados con FN.

Estos refuerzos naturales pueden ser tratados químicamente, sin embargo, también pueden ser modificados superficialmente por medio de la tecnología de plasma. Esta tecnología es limpia, económica y no deja residuos como los dejados en los tratamientos químicos. La modificación superficial por plasma es considerada una tecnología ambientalmente benigna, que puede mejorar las propiedades de estos compósitos, para ser utilizados en la industria automotriz, de la construcción y múltiples aplicaciones más (Alonso y col., 2017).

Los compósitos poliméricos reforzados con materiales biodegradables, son materiales que están compuestos por una matriz polimérica y una fase de

refuerzo, este refuerzo pueden ser fibras naturales de diferentes especies como lo es el sisal, yute, agave, cáñamo, algodón, fibra de coco, etc. (Renato y col., 2019). La finalidad de utilizar estas fibras, es mejorar el módulo de Young, aumentar la biodegradabilidad para disminuir la contaminación, reducir costos y disminuir el peso del producto obtenido (Posada y col., 2020). Los compósitos que contienen fibras naturales en su composición son alternativas viables para su explotación en el mercado. Sin embargo, las fibras al ser mezclados con matrices poliméricas, presentan una problemática principal, que es la baja compatibilidad entre ambos. Las fibras tienen una afinidad hidrofílica, debido, a los grupos hidroxilo que se encuentran en la superficie, mayoritariamente presentes en la celulosa y lignina, mientras los polímeros, principalmente polietileno y polipropileno presentan un carácter hidrófobo, debido a esto es lo que genera una pobre interacción entre ellos (Restrepo, 2016; Rozman, 2000). Sin embargo, la tecnología del plasma es una herramienta útil, que puede ser utilizada para mejorar la interacción interfacial entre la matriz y el material de refuerzo, generando sobre la superficie de la fibra grupos funcionales semejantes al polímero con el que se va a mezclar.

El propósito de esta investigación es brindar un análisis del estado del arte de las investigaciones que abordan información, acerca de compósitos poliméricos reforzados con fibras naturales y los resultados que se han obtenido con la utilización de la tecnología del plasma.

METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda de artículos científicos en bases de datos como Google Académico, Scopus y ScienceDirect del 2019 al 2024. La finalidad fue obtener información relevante y actualizada acerca de las fibras naturales, su composición, y el efecto que tiene la tecnología del plasma sobre las mismas.

COMPUESTOS POLIMÉRICOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES

DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Los compósitos en general se definen como materiales que están hechos de dos o más fases distintas, que comprenden una matriz y una fase o fases que



pueden actuar como refuerzos, las cuales están separadas por una interfase reconocible (Verdejo y col., 2021). La importancia de los compósitos y por lo que es deseable su obtención, es que muestran características estructurales y funcionales que no pueden ser alcanzadas por un polímero específico por sí solo (Ageyeva y col., 2018). La fase de refuerzo (fibras), debe tener como característica ser más fuerte y rígida que el de la matriz mientras que la función de la matriz polimérica, es mantener la estructura y forma, además de proteger el refuerzo del ataque ambiental (Ageyeva y col., 2018).

COMPOSICION QUÍMICA Y ESTRUCTURAL DE LAS FN

Las fibras naturales están compuestas en su mayoría por celulosa, lignina y hemicelulosa, de entre ellas, la celulosa es el biopolímero natural más abundante, que ha despertado gran interés por el potencial que presenta, debido a sus propiedades mecánicas, sus grupos reactivos y su biodegradabilidad (Wei y col., 2015). Trivedi y col. en el 2015 mencionan las características químicas de la celulosa y su composición:

La celulosa presenta una estructura compleja con dos niveles de organización: El nivel supramolecular compuesto por regiones cristalinas y amorfas y el nivel molecular que consiste en unidades de D-anhidroglucopiranososa (AGU) dispuestas en la configuración de silla, unidas por enlaces β -1,4-glicosídicos que dan como resultado un giro alternativo del eje de la cadena de celulosa por 180° . Cada AGU repetida posee tres grupos hidroxilo, un grupo primario en C6 y dos grupos secundarios en C2 y C3, los cuales pueden formar enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares, dando lugar a la formación de estructuras cristalinas tridimensionales altamente ordenadas (Poonan Trivedi y col., 2019). En la Figura 1 se observa la estructura de la celulosa.

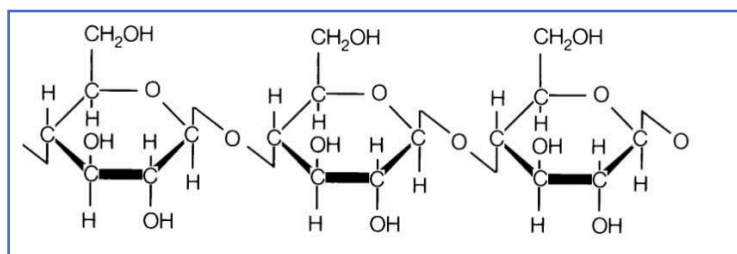


Figura 1. Estructura de la celulosa (Molina, 2020).

La lignina es un heteropolímero presente en las estructuras vasculares de las plantas (Lucas y col., 2013), que añade rigidez estructural además de resistencia a la tensión y presión hídrica (Renault y col., 2019); por otra parte, la celulosa y la lignina en conjunto son los principales componentes estructurales de los materiales de origen vegetal utilizados en la industria forestal, de los cuales se obtienen productos renovables que sirven como materia prima (De Souza y col., 2020; Yu y Kim, 2020). El porcentaje de lignina oscila entre 15–25 % en las plantas vasculares. La lignina es considerada un recurso renovable asequible y con potencial de uso industrial; su producción anual se estima aproximadamente en $5\text{--}36 \times 10^8$ toneladas anuales (Chávez, 2013). En la Figura 2 se observa la estructura de la lignina.

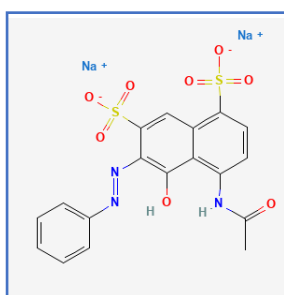


Figura 2. Estructura de la lignina (Centro Nacional de Información Biotecnológica, 2024)

La hemicelulosa es un heteropolímero compuesto por diferentes unidades de azúcares, como glucanos, mananos y xilanos. Tiene una estructura ramificada y funciona como agente de estabilización, presente en las paredes celulares de las plantas (Brunner, 2014).

En la Figura 3 se observa la estructura interna de una fibra natural, donde S3 es la pared terciaria, S2 la pared secundaria, S1 la pared primaria y P la pared exterior. La pared primaria (P) contiene una red organizada, en forma suelta y aleatoria, de microfibrillas de celulosa embebidas en una matriz de hemicelulosas parcialmente orientadas.

Bajo la pared primaria se encuentra la pared secundaria, que constituye casi la totalidad de la pared celular. Esta pared está dividida en tres capas denominadas S1, S2 y S3. La capa exterior de la pared secundaria (S1) presenta un patrón entrecruzado de microfibrillas. La capa S2 ocupa la mayor parte del volumen de la pared celular; en esta parte, las microfibrillas están orientadas de forma casi paralela al eje de la fibra (Turrado y col., 2008).

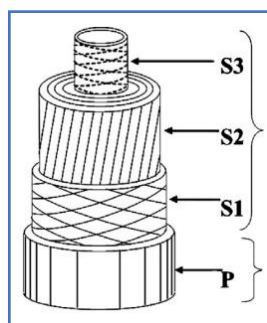


Figura 3. Estructura física de las fibras bio-basadas. (N. Martín y col., 2013)

En la Tabla 1 se muestra el contenido de celulosa, lignina, hemicelulosa y ceniza presente en las fibras naturales mencionadas en los composites en esta investigación documental.

Tabla 1. composición química de las fibras más utilizadas en composites poliméricos

%	Lino Lazić y col. (2017)	Coco Wu y col. (2019)	Yute Jahan y col. (2010)	Madera (<i>Pinus radiata</i>) Gómez y col. (2012)	Agave Satyanarayana y col. (2013)
Celulosa	64.1-76	44	65	37.88	73.60
Lignina	2-5	33	12.7	33.72	21.10
Hemicelulosa	11-20.6	12	15.8	23.62	-
Ceniza	-	2	2.1	-	5.30

EFFECTO DEL PLASMA EN COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

A continuación, se presentan diversas investigaciones que emplean el tratamiento con plasma como agente de mejora en las propiedades de distintos composites poliméricos, con diferentes matrices y proporciones de carga orgánica. Por ejemplo, en la investigación realizada por Ravishankar y col. (2024), se prepararon compuestos laminados a base de termoplásticos reforzados con yute o lino. Se utilizó una matriz de polipropileno (PP) con 45 % de fibra de lino o de yute en forma de tela. También se fabricaron compuestos en forma de sándwich, conformados por capas de fibra de lino/PP/PET y de fibra de yute/PP/PET, donde el PET era espuma reciclada. Las fibras fueron modificadas mediante plasma de oxígeno, helio y aire (8 % / 1.5 % / 90.5 %), aplicado a baja presión, con 1000 W de potencia y a una velocidad constante de 1 m/min.

Los resultados mostraron que los laminados de lino/PP superaron en propiedades mecánicas a los de yute/PP, con mejor desempeño en pruebas de tracción, flexión e impacto. Un hallazgo significativo fue el efecto positivo

del tratamiento con plasma en los laminados de lino, que condujo a un aumento de 8.6 % en la resistencia a la flexión, alcanzando un valor de 54.09 MPa, en comparación con el laminado de lino/PP sin tratamiento. Esto resalta la eficacia del plasma para mejorar propiedades mecánicas específicas. Además, se observó que los laminados de lino/PP con núcleo de espuma PET reciclada exhibieron la mayor resistencia mecánica y mejores propiedades de flexión en comparación con los laminados de yute y PP. Por otra parte, Moadab y col. (2023) realizaron ensayos utilizando PP como matriz y fibra de madera como refuerzo, la cual fue tratada con plasma frío atmosférico durante 0, 60, 120 y 180 segundos, con una potencia de 20 kV. Los mejores resultados se obtuvieron con 180 segundos de tratamiento, en los que el módulo de almacenamiento mejoró de 500 MPa a 800 MPa gracias al efecto del plasma.

Asimismo, Putra y col. (2020) utilizaron la tecnología de plasma de microondas para modificar fibra de coco, empleando como fase continua una resina epóxica. La modificación se concretó gracias a la acción del plasma sobre una solución acuosa de bicarbonato de sodio a 8, 10 y 12 % en peso, con una potencia de 600 W, presión de 20 kPa y tiempos de 3, 4, 5 y 6 minutos. Con la fibra expuesta durante cinco minutos al tratamiento con plasma, los resultados mostraron un aumento en la resistencia al deslizamiento interfacial de 4.23 a 4.75 MPa, así como una disminución de la fuerza de tracción de las fibras.

En otro trabajo, reportado por Corral y col. (2021), se formuló espuma de polietileno de baja densidad con acetato de vinilo-etileno y fibras de agave tratadas con plasma de etileno a 13.56 MHz de frecuencia, 40 W de potencia y 2.9 Pa de presión durante 60 minutos. Las mejores propiedades mecánicas se lograron mediante la incorporación del 12 % en peso de fibras de agave. Con este contenido de fibra, el módulo de compresión mejoró un 7 % al adicionar fibras vírgenes y un 30 % al utilizar fibras tratadas con plasma.

De modo similar, Farías y col. (2017) evaluaron la resistencia a la tracción de un compuesto con una matriz de polietileno (PE) y 30 % de fibra de coco modificada con plasma. Los gases elegidos para el tratamiento fueron oxígeno puro y aire; ambos provocaron grabado superficial. Las presiones de gas utilizadas en los tratamientos de plasma fueron de 10 Pa (1.0×10^{-1} mbar) para el aire y 5 Pa (5.0×10^{-2} mbar) para el oxígeno. Estas presiones se seleccionaron para lograr una mayor intensidad del plasma bajo estas condiciones, medida con un espectrómetro óptico. La rotación del soporte de

la muestra se mantuvo a 60 RPM mediante un motor interno. La potencia del reactor de plasma fue suministrada por un generador RF de 13.56 MHz, y el circuito de adaptación de impedancia fue construido internamente con capacitores variables. El efecto del tratamiento por plasma en la fibra de coco mejoró la resistencia a la tracción en 300 %, usando como precursor el gas oxígeno durante 7.2 minutos a 80 W de potencia, siendo éste el más eficiente en comparación con el plasma de aire.

Del mismo modo, Muralidhar y col. (2020) emplearon una matriz de PP y fibra de sisal, donde el porcentaje óptimo de fibra fue de 25 % en peso del compósito. El tratamiento con plasma atmosférico se realizó utilizando los siguientes gases: oxígeno de alta pureza, argón y amoníaco. Las fibras de sisal preparadas se organizaron en un soporte rectangular para muestras (51 × 55 cm) y se colocaron entre dos electrodos a 60 W de potencia, presión de 9×10^{-2} kPa y un tiempo de diez minutos. Los resultados confirmaron un incremento en la resistencia a la flexión. Los compósitos con fibra sin tratar obtuvieron un valor de 4.71 MPa, mientras que los compósitos con fibra tratada alcanzaron 7.17 MPa, obteniendo así una ganancia significativa en dicha propiedad.

En otra investigación, Sari y col. (2021) utilizaron una matriz de PE modificada con plasma de microondas, usando oxígeno a una presión de 70–100 Pa, a temperatura ambiente y con una duración de 60 y 600 segundos, y como fase dispersa la fibra de coco blanqueada y sin blanquear a 5 % en peso. Los resultados obtenidos mostraron un incremento en la resistencia a la tracción de 16 MPa a 19 MPa.

Por otra parte, Macedo y col. (2019) obtuvieron un composito a base de PE y fibra de kapok modificada con plasma frío atmosférico. Ellos utilizaron un voltaje de 400–500 V y un caudal de oxígeno de 10 cm³ L/min a una presión de 1.5 mbar, encontrando que la resistencia a la tracción se mantuvo estable, de 21.1 MPa antes del tratamiento a 20.5 MPa postratamiento.

En los diversos estudios evaluados se encontró que las fibras naturales por sí solas presentan poca afinidad con las matrices poliméricas; sin embargo, después de la funcionalización con la tecnología del plasma, en general se obtienen ganancias en la resistencia de estos compositos debido a la afinidad lograda por el plasma entre la matriz y la fibra. Por otra parte, las fibras naturales (FN) son particularmente valoradas por su uso como refuerzo en matrices poliméricas, ya que son biodegradables y disminuyen el peso del producto obtenido, mientras que el plasma brinda una opción ecológica

viable para mejorar aún más las propiedades mecánicas de estos composites y crear nuevos materiales poliméricos (Gupta y col., 2021).

En la Tabla 2 se observa el análisis de las diversas investigaciones abordadas en esta revisión, donde se advierte que se utilizaron plasmas a diferentes frecuencias, como: a) el plasma de RF, que opera a una frecuencia de aproximadamente 13.56 MHz, y b) el plasma de microondas, que opera a una frecuencia de alrededor de 2.45 GHz. También se utilizó el plasma atmosférico creado al ionizar un gas como el aire, el cual, en vez de utilizar radiofrecuencia, se produce a través de una descarga eléctrica de alta tensión. Se encontró que los plasmas fríos más utilizados en estas investigaciones fueron los de radiofrecuencia a baja presión y los atmosféricos. También se puede advertir que los polímeros más empleados en la formulación de los composites son el PP y el PE, siendo el PE el más comúnmente utilizado. Las fibras utilizadas van desde sisal, fibra de coco, fibra de madera, agave, lino y kapok, siendo la más investigada la fibra de coco. Por otro lado, se observa que el gas precursor más empleado para la obtención del plasma fue el oxígeno, seguido del plasma de aire, el plasma de etileno y el plasma de amonio. El objetivo principal de estas investigaciones fue comprobar el beneficio de la modificación superficial por plasma, se advierte en la Tabla 2 que, independientemente del tipo de precursor de plasma y del composite obtenido, cuando se utiliza plasma se produce un incremento general en las propiedades fisicomecánicas de estos materiales. El mayor o menor aumento en las propiedades está relacionado y depende de variables como la concentración de la fibra, el tipo de fibra utilizada, las condiciones de la modificación y el tipo de gas precursor.

Gracias a la manipulación de estas variables, por ejemplo, en la resistencia a la flexión se pudo lograr hasta 45 % de incremento; en el módulo de almacenamiento, de 500 MPa se consiguió obtener hasta 800 MPa; se logró hasta 130 % de incremento en la resistencia a la compresión; mientras que en la resistencia a la tracción se alcanzó un incremento de hasta 375 % en los diferentes composites y con las diferentes variables utilizadas.

Estos incrementos en las propiedades son atribuidos a dos factores importantes provocados al modificar la superficie de las fibras por plasma:

1. El plasma provoca que las fibras sean más compatibles con la matriz. Esto se debe a que la tecnología del plasma puede manipular las propiedades superficiales de los materiales, haciéndolos más hidrofílicos o hidrofóbicos, de acuerdo con las propiedades

superficiales que presente la matriz con la que se vaya a mezclar la fibra, con el fin de provocar una mayor interacción interfacial.

- Las fibras, al ser más compatibles con la matriz, tienden a dispersarse mejor y no aglomerarse dentro de ella, logrando que el material se refuerce más homogéneamente.

Estos dos factores —la mayor interacción interfacial, que logra una adhesión más efectiva con la matriz, y la mejor dispersión de la fibra dentro de la matriz— son los responsables del notable aumento de las propiedades mecánicas. Lo cual avala la premisa de que el plasma puede mejorar significativamente las propiedades de estos materiales compuestos.

Tabla 2. Análisis de compositos poliméricos con fibras naturales que emplearon plasma como agente de mejora.

Autor	Año	Tipo de plasma empleado	Metodología	Componentes del composito	Resultados más relevantes
Ravi-shankar	2024	Plasma de oxígeno/helio/aire	Matriz de PP reforzado con malla de lino modificada con plasma de oxígeno atmosférico a una potencia de 1000 W, velocidad de modificación 1 m x minuto	Polipropileno y fibra de lino 45%	Aumento del 45 % en resistencia a la flexión de 49.39 MPa a 54.09 MPa.
Moadab	2023	Plasma de aire	Matriz de PP, fibra de madera tratada usando plasma frío atmosférico 0, 60, 120 y 180 segundos, potencia de 20 KV	Polipropileno y fibra de madera	La exposición a 180 segundos mejoró el módulo de almacenamiento de 500 MPa a 800 MPa posterior al tratamiento con plasma.
Corral	2021	Plasma de etileno con radiofrecuencia	Matriz de espuma de PE con fibra de agave utilizando plasma de etileno de radiofrecuencia a 60 W potencia por 60 min y presión de 2.9 Pa	Espuma de PE y fibra de agave	La carga orgánica óptima es del 12 % en peso. Aumento a la resistencia a la compresión de 2.7 KJ/m ³ a 3.5 KJ/m ³
Putra	2020	Plasma de microondas	Matriz de resina epóxica con fibra de coco modificada con plasma sobre solución acuosa de bicarbonato de sodio al 8,10 y 12 % en peso, a potencia de 600 W, presión de 20 kPa y tiempos de 3, 4, 5 y 6 min.	Resina epóxica y fibra de coco	Aumento a la resistencia al deslizamiento interfacial de 4.23 MPa a 4.75 MPa
Farias	2017	Oxígeno puro y aire	Matriz de PE y fibra de coco con plasma de radiofrecuencia por 7.2 minutos a 80 W de potencia a 10 Pa para aire y 5 Pa para oxígeno	PE y 30% de fibra de coco	Mejora del 300% en resistencia a la tracción usando oxígeno durante el tratamiento por plasma.
Murali-dhar	2020	Plasma con oxígeno, aire y amoniaco	Matriz de PP y fibra de sisal en concentración de 25% en peso modificada con plasma de amonio a 60 W de potencia a una presión de 9X10 ⁻² kPa por 10 minutos	PP y fibra de sisal	Aumento a la resistencia a la flexión de 4.71 MPa a 7.17 MPa
Sari	2019	Plasma de microondas con atmósfera de oxígeno	Matriz de LDPE modificado con plasma de microondas y refuerzo de fibra de coco utilizando 1 atm de oxígeno, presión de 70-100 Pa, tiempo 600 segundos y temperatura ambiente.	LDPE y fibra de coco	Aumento en la resistencia a la tracción de 16 MPa a 19 MPa.
Macedo	2019	Plasma de oxígeno	Matriz de PE y fibra de Kapok modificada con plasma de oxígeno, con un voltaje de 400-500 V, caudal de oxígeno de 10 cm ³ .min ⁻¹ y presión de 1.5 Mbar.	PE y fibra de Kapok	La resistencia a la tracción se mantuvo estable de 21.1 MPa antes del tratamiento a 20.5 MPa post tratamiento.

CONCLUSIONES

Los estudios revisados mostraron aumentos significativos de hasta 45 por ciento en resistencia a la flexión y módulos de almacenamiento que pasaron



de 500 a 800 MPa, que indican que el tratamiento con plasma es un método eficaz para mejorar las propiedades de los materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales. Al modificar la superficie de las fibras se logra una adhesión más efectiva con la matriz, así como una mayor dispersión de las fibras dentro de esta matriz, promoviendo un material más homogéneo y una mayor interacción interfacial que provocan un notable incremento en las propiedades mecánicas. Aunado a lo anterior, estos composites son más livianos y más biodegradables, y debido a las regulaciones ambientales más exigentes, esto los hace materiales más atractivos para aplicaciones industriales, como la fabricación de paneles interiores de automóviles. Esta investigación muestra el creciente interés en la investigación sobre el uso de fibras naturales como refuerzo polimérico, así como en la implementación de tecnologías sostenibles para minimizar el impacto ambiental, como el uso de la tecnología de plasma. En conclusión, el tratamiento con plasma representa una solución efectiva para mejorar la adhesión entre las fibras naturales y las matrices poliméricas, facilitando así el desarrollo de materiales compuestos con propiedades superiores y un mayor potencial para aplicaciones industriales.

REFERENCIAS

- Pozo Morales, A. R. (2019). *Materiales compuestos de fibras naturales* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/55053/1/ANGEL_RENATO_POZO_MORALES.pdf
- Bledzki, A. K., & Faruk, O. (2019). Natural Fiber Reinforced Composites: History, Types and New Trends. En M. Jawaid, M. S. Salit, & M. R. Islam (Eds.), *Sustainable Composites for Aerospace Applications* (pp. 155–178). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12903-3_9
- Brunner, G. (2014). Processing of biomass with hydrothermal and supercritical water. En G. Brunner (Ed.), *Hydrothermal and Supercritical Water Processes* (pp. 395–509). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59413-6.00008-X>
- Buteler, M. (2019). ¿Qué es la contaminación por plástico y por qué nos afecta a todos? *Desde la Patagonia. Difundiendo Saberes*, 16(28): 56–60. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/109678>
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial.



Avances en Ciencias e Ingeniería, 4(4): 15–46. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323629266003.pdf>

- De Souza, R. E., Gomes, F. J. B., Brito, E. O., Costa-Lelis, R. C., Ribas-Batalha, L. A., Almeida-Santos, F., & Longue-Junior, D. (2020). A review on lignin sources and uses. *Journal of Applied Biotechnology and Bioenergy*, 7: 100–105. <https://doi.org/10.15406/jabb.2020.07.00222>
- De Farias, J. G. G., Cavalcante, R. C., Canabarro, B. R., Viana, H. M., Scholz, S., & Simão, R. A. (2017). Surface lignin removal on coir fibers by plasma treatment for improved adhesion in thermoplastic starch composites. *Carbohydrate Polymers*, 165: 429–436. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.042>
- Kestur, G. S., Flores-Sahagun, T. H. S., dos Santos, L. P., dos Santos, J., Mazzaro, I., & Mikowski, A. (2013). Characterization of blue agave bagasse fibers of Mexico. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 45: 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.09.001>
- Gupta, U. S., Dhamarikar, M., Dharkar, A., Chaturvedi, S., Kumrawat, A., Giri, N., y Namdeo, R. (2021). Plasma modification of natural fiber: A review. *Materials Today: Proceedings*, 43: 451–457. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.973>
- Gómez, E. A., Ríos, L. A., y Peña, J. D. (2012). Madera, un potencial material lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia. *Información Tecnológica*, 23(6): 73–86. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642012000600009>
- Jahan, M. S., Saeed, A., He, Z., y Ni, Y. (2010). Jute as raw material for the preparation of microcrystalline cellulose. *Cellulose*, 18(2): 451–459. <https://doi.org/10.1007/s10570-010-9481-z>
- Lazić, B. D., Pejić, B. M., Kramar, A. D., Vukčević, M. M., Mihajlović, K. R., Rusmirović, J. D., y Kostić, M. M. (2017). Influence of hemicelluloses and lignin content on structure and sorption properties of flax fibers (*Linum usitatissimum* L.). *Cellulose*, 25(1): 697–709. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1575-4>
- Lucas, W. J., Groover, A., Lichtenberger, R., Furuta, K., Yadav, S. R., Helariutta, Y., y Kachroo, P. (2013). The plant vascular system: evolution, development and functions. *Journal of Integrative Plant Biology*, 55(4): 294–388. <https://doi.org/10.1111/jipb.12041>
- Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., y Terrazas, T. (2021). Lignina: composición, síntesis y evolución. *Madera y Bosques*, 27(2): e2722137. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
- Macedo, M. J., Silva, G. S., Feitor, M. C., Costa, T. H., Ito, E. N., y Melo, J. D. (2020). Surface modification of kapok fibers by cold plasma surface treatment. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2): 2467–2476. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.077>
- Martin, N., Mouret, N., Davies, P., y Baley, C. (2013). Influence of the degree of retting of flax fibers on the tensile properties of single fibers and short fiber/polypropylene



composites. *Industrial Crops and Products*, 49: 755–767. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.012>

Molina, A., y Flórez-Castillo, J. M. (2020). Biopolímeros como sistemas de bioencapsulación. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19521.17767/1>

Muralidhar, B. A. (2020). Characterization of sisal/polypropylene composites treated with plasma. *Textile & Leather Review*, 3(4), 202–212. <https://doi.org/10.31881/TLR.2020.15>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Muralidhar, B. A. (2020). Characterization of sisal/polypropylene composites treated with plasma. *Textile & Leather Review*, 3(4): 202–212. <https://doi.org/10.31881/TLR.2020.15>

Putra, A. E. E., Renreng, I., Arsyad, H., y Bakri, B. (2020). Investigating the effects of liquid-plasma treatment on tensile strength of coir fibers and interfacial fiber-matrix adhesion of composites. *Composites Part B: Engineering*, 183: 107722. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107722>

Radoor, S., Karayil, J., Jayakumar, A., y Siengchin, S. (2021). Investigation on mechanical properties of surface-treated natural fibers-reinforced polymer composites. En *Biocomposites from lignocellulosic biomass: technology and applications* (pp. 135–162). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527822331.ch7>

Ravishankar, P., Arya, M., Dhakal, H., Gouda, F., Skrifvars, M., y Khalili, P. (2024). Assessing the mechanical performance of natural fiber thermoplastic composite sandwiches for advanced applications. *Results in Materials*, 23: 100600. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2024.100600>

Renault, H., Werck-Reichhart, D., y Weng, J. K. (2019). Harnessing lignin evolution for biotechnological applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 56: 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.10.011>

Velásquez Restrepo, S. M., Pelaéz Arroyave, G. J., y Giraldo Vásquez, D. H. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *Informador Técnico*, 80(1): 77–86. <https://doi.org/10.23850/22565035.32>

Rozman, H. D., Tan, K. W., Kumar, R. N., Abubakar, A., Mohd. Ishak, Z. A., y Ismail, H. (2000). The effect of lignin as a compatibilizer on the physical properties of coconut fiber-polypropylene composites. *European Polymer Journal*, 36(7): 1483–1494. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(99\)00200-1](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(99)00200-1)

Sari, P. S., Thomas, S., Spatenka, P., Ghanam, Z., y Jenikova, Z. (2019). Effect of plasma modification of polyethylene on natural fibre composites prepared via rotational moulding. *Composites Part B: Engineering*, 177: 107344. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107344>



- Santiago-Saenz, Y. O., Guzmán-Ortiz, F. A., Acevedo-Sandoval, O. A., y Román-Gutiérrez, A. D. (2016). Agricultura sustentable: una alternativa para suelos cebaderos en Hidalgo. En L. Díaz-Batalla, C. A. Gómez-Aldapa, J. Castro-Rosas, y A. Téllez-Jurado (Coords.), *Biotecnología y alimentos en Hidalgo: transitando a la bioeconomía* (pp. 72–86). Amalgama Arte Editorial S.A. de C.V. <https://www.researchgate.net/publication/327097549>
- Soriano-Corral, F., Calva-Nava, L. A., Hernández-Gámez, J. F., Hernández-Hernández, E., González-Morones, P., Ávila-Orta, C. A., Soria-Arguello, G., Fonseca-Florido, H. A., Covarrubias-Gordillo, C. A., y Díaz de León-Gómez, R. E. (2021). Influence of ethylene plasma treatment of agave fiber on the cellular morphology and compressive properties of low-density polyethylene/ethylene vinyl acetate copolymer/agave fiber composite foams. *Journal of Composites*, 2021: 1–13. <https://doi.org/10.1155/2021/9150310>
- Majewski, T., & Bautista, A. B. (2012). *Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz*. Ideas en Ciencia, 1(2), 38–39. Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense.
- Trivedi, P., y Fardim, P. (2019). Recent advances in cellulose chemistry and potential applications. En *Green materials for sustainable water remediation and treatment* (pp. 99–115). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3768-0_4
- Turrado, J., Saucedo, A., Ramos, J., y Reynoso, M. (2008). Comportamiento de la fibra de celulosa reciclada en el proceso de hidratación. *Información Tecnológica*, 19(5): 59–64. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000500014>
- Verdejo Márquez, R., López Manchado, M. A., y Santiago Bethencourt, A. (2022). Polímeros reforzados con fibras basados en matrices termoplásticas (Patente núm. ES2906674A1). Oficina Española de Patentes y Marcas.
- Wu, J., Du, X., Yin, Z., Xu, S., y Zhang, Y. (2019). Preparation and characterization of cellulose nanofibrils from coconut coir fibers and their reinforcements in biodegradable composite films. *Carbohydrate Polymers*, 211: 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.01.093>
- Wei, L., McDonald, A. G., y Stark, N. M. (2015). Grafting of bacterial polyhydroxybutyrate (PHB) onto cellulose via in situ reactive extrusion with dicumyl peroxide. *Biomacromolecules*, 16(3): 1040–1049. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.5b00049>
- Yu, O., y Kim, K. H. (2020). Lignin to materials: a focused review on recent novel lignin applications. *Applied Sciences*, 10(13): 4626. <https://doi.org/10.3390/app10134626>



EL LADO VERDE DE LAS NANOESTRUCTURAS DE BISMUTO: REVOLUCIONANDO LA NANOTECNOLOGÍA CON MÉTODOS SOSTENIBLES

THE GREEN SIDE OF BISMUTH NANOSTRUCTURES: REVOLUTIONIZING NANOTECHNOLOGY THROUGH SUSTAINABLE METHODS

DE LOS SANTOS TORRES, Aarón ¹

MARTÍNEZ LANDEROS, Víctor Hugo ¹

GARCÍA CERDA, Luis Alfonso ²

RESUMEN

La creciente demanda de nanomateriales más seguros y sostenibles ha posicionado a la síntesis verde como una opción viable frente a los métodos convencionales, que a menudo emplean reactivos tóxicos y demandan alto consumo energético. En este contexto, las nanoestructuras de bismuto han cobrado relevancia debido a su baja toxicidad, propiedades semiconductoras y versatilidad aplicativa. Esta revisión analiza los avances recientes en la síntesis de nanoestructuras de bismuto mediada por agentes biológicos, como extractos vegetales, microorganismos y biomoléculas, así como su caracterización morfológica, propiedades funcionales y desempeño en aplicaciones ambientales, particularmente en fotocatalisis y remediación ambiental. Entre los hallazgos reportados, destaca que un método verde permite obtener nanopartículas con morfologías controladas y buena biocompatibilidad, aunque aún enfrentan limitaciones en reproducibilidad y escalabilidad. Se concluye que, pese a los retos pendientes, la síntesis verde de nanoestructuras basadas en bismuto constituye una alternativa prometedora para el desarrollo de nanomateriales sostenibles, siempre que se avance en la estandarización de protocolos y la validación en condiciones reales.

Palabras clave: nanoestructuras de bismuto; síntesis verde; fotocatalisis; sostenibilidad; remediación ambiental.

1. Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, Monclova, Coahuila, México.
2. Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila, México.

Correspondencia
vmartinezlanderos@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-5881-4048>
Fecha de recepción
30 de octubre de 2025.
Fecha de aceptación
17 de febrero de 2026.

ABSTRACT

The growing demand for safer and more sustainable nanomaterials has positioned green synthesis as a viable alternative to conventional methods, which often involve toxic reagents and high energy consumption. In this context, bismuth nanostructures have gained relevance due to their low toxicity, semiconductor properties, and application versatility. This review analyzes recent advances in the synthesis of bismuth nanostructures mediated by biological agents—such as plant extracts, microorganisms, and biomolecules—as well as their morphological characterization, functional properties, and performance in environmental applications, particularly in photocatalysis and remediation. Among the reported findings, it stands out that these green methods enable the production of nanoparticles with controlled morphologies and greater biocompatibility, although they still face limitations in reproducibility and scalability. It is concluded that, despite pending challenges, the green synthesis of bismuth represents a promising alternative for the development of sustainable nanomaterials, provided progress is made in protocol standardization and validation under real conditions.

Keywords: *bismuth nanostructures; green synthesis; photocatalysis; sustainability; environmental remediation.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la síntesis de nanomateriales se ha orientado hacia rutas más sostenibles, en respuesta a los impactos ambientales asociados a los métodos químicos y físicos convencionales (Gupta, 2023). La denominada síntesis verde utiliza recursos naturales, desde extractos vegetales hasta residuos agroindustriales, como agentes reductores y estabilizantes, lo que reduce significativamente el uso de solventes orgánicos peligrosos y el consumo energético (Nasrollahzadeh y col., 2018; Makarov y col., 2014).

De los metales estudiados, el bismuto ha despertado especial interés por su baja toxicidad, estabilidad química y propiedades optoelectrónicas únicas, que lo hacen adecuado para aplicaciones que van desde la catálisis hasta la biomedicina (Shahbazi y col., 2020; Batool y col., 2021). El uso de extractos



de plantas para la síntesis de nanomateriales permite no solo la reducción de precursores de bismuto, sino también el control sobre la forma y el tamaño de las nanopartículas, algo difícil de lograr con métodos tradicionales sin recurrir a surfactantes agresivos.

No obstante, la síntesis verde de nanoestructuras de bismuto (Bi-NS) aún enfrenta obstáculos considerables. La variabilidad en la composición de los extractos biológicos, la falta de estandarización de los protocolos y la dificultad para escalar los procesos son algunos de los problemas más frecuentemente reportados (Mofijur y col., 2022; Gupta, 2023). Además, existen vacíos importantes en la comprensión de los mecanismos moleculares que subyacen a la biorreducción y a la estabilización coloidal, lo que limita la reproducibilidad entre lotes.

El objetivo de esta revisión es ofrecer una visión integral y actualizada de las estrategias de síntesis verde de nanoestructuras de bismuto, así como de los factores que influyen en sus propiedades fisicoquímicas y sus aplicaciones ambientales, destacando los desafíos de implementación y las oportunidades de investigación futura.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente revisión bibliográfica se llevó a cabo mediante una búsqueda sistemática de literatura científica en bases de datos especializadas, incluyendo Scopus, Web of Science y ScienceDirect. Se consideraron artículos publicados principalmente entre 2020 y 2025, enfocados en la síntesis verde de nanoestructuras de bismuto, con énfasis en los mecanismos de síntesis, la caracterización fisicoquímica y las aplicaciones ambientales, particularmente en procesos de fotocatalisis y remediación.

Los criterios de selección incluyeron estudios originales y revisiones que abordaran rutas de síntesis mediadas por agentes biológicos, métodos asistidos por tecnologías verdes y evaluaciones del desempeño funcional de las nanoestructuras obtenidas. La información recopilada fue analizada de manera crítica y comparativa, con el objetivo de identificar tendencias actuales, avances relevantes y limitaciones persistentes en el campo.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

ESTRATEGIAS DE LA SÍNTESIS VERDE

La literatura revela una diversidad de enfoques para la síntesis verde de Bi-NS, que se clasifican principalmente en rutas mediadas por plantas y por microorganismos.

SÍNTESIS MEDIADA POR PLANTAS

Esta es la estrategia más reportada, que aprovecha la riqueza de metabolitos secundarios en extractos de hojas, frutos, cortezas y raíces. Estudios como los de Nasrollahzadeh y col. (2018) y Alam y col. (2013) destacan el uso de extractos de plantas medicinales para producir Bi-NS con tamaños bien definidos y alta estabilidad. Los compuestos fenólicos, flavonoides y terpenoides actúan como agentes reductores del precursor de bismuto (e.g., $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$) y como agentes estabilizantes que previenen la agregación de las nanopartículas.

Como se ilustra en la Figura 1, los metabolitos secundarios presentes en los extractos vegetales actúan como agentes reductores y estabilizantes, lo que permite la formación de nanoestructuras metálicas estables.

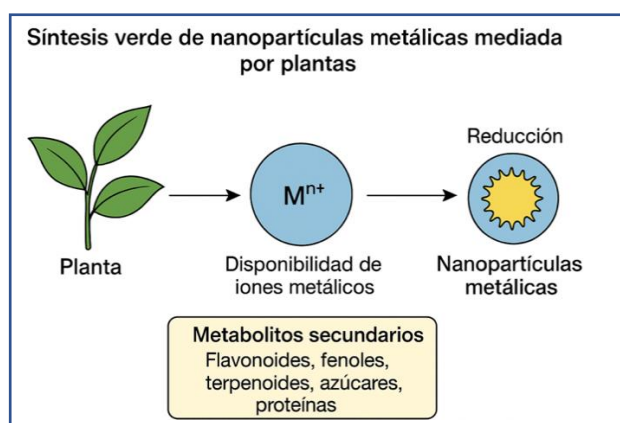


Figura 9. Síntesis verde de nanopartículas metálicas mediada por extractos vegetales. Los metabolitos secundarios actúan como agentes reductores y estabilizantes. Nota: Adaptado de "Green nanotechnologies: Synthesis of metal nanoparticles using plants", por Makarov y col., 2014, Acta Naturae.

SÍNTESIS MEDIADA POR MICROORGANISMOS

Bacterias, hongos y levaduras también se emplean para la producción de Bi-NS. Makarov y col. (2014) demostraron la capacidad de varios sistemas microbianos para reducir iones de bismuto tanto intracelular como extracelularmente. Aunque este método puede ofrecer un control fino de las condiciones de síntesis, a menudo presenta mayores desafíos en términos de rendimiento y control morfológico que los extractos vegetales.

La Figura 2 esquematiza los principales mecanismos involucrados en la biosíntesis de nanoestructuras de bismuto mediada por microorganismos, en la que enzimas y metabolitos intracelulares o extracelulares facilitan la reducción y la estabilización de los iones metálicos.

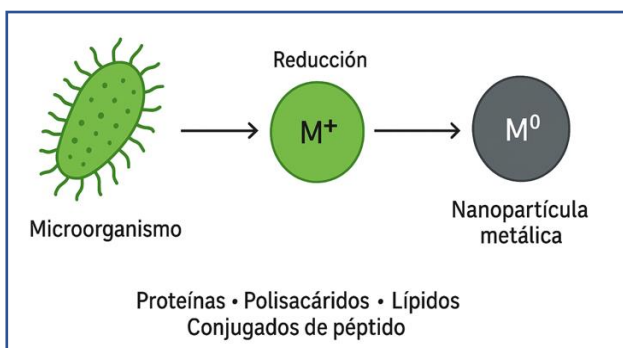


Figura 2. Biosíntesis de nanopartículas mediada por microorganismos: Las bacterias, hongos y algas pueden reducir iones metálicos (M^{n+}) a nanopartículas metálicas (M^0) mediante enzimas reductasas, proteínas y metabolitos intracelulares o extracelulares.

Adaptado de *Plant-mediated green synthesis of nanostructures: Mechanisms, characterization, and applications* (Nasrollahzadeh y col. 2018).

MÉTODOS ASISTIDOS POR TECNOLOGÍA

Se han adaptado métodos físicos y químicos para ser más ecológicos. Por ejemplo, Sonkusare y col. (2018) utilizaron la irradiación de microondas con extractos biológicos, reduciendo significativamente los tiempos de reacción de horas a minutos. De manera similar, en los métodos hidrotermal y solvotermal se han utilizado solventes verdes acuosos, lo que ha mejorado la eficiencia energética general del proceso (Duan y col., 2015).

En la Figura 3 se presenta la adaptación de métodos físico-químicos convencionales a enfoques de química verde, destacando la sustitución de

solventes peligrosos, el uso de fuentes de energía más eficientes y la incorporación de agentes reductores naturales.

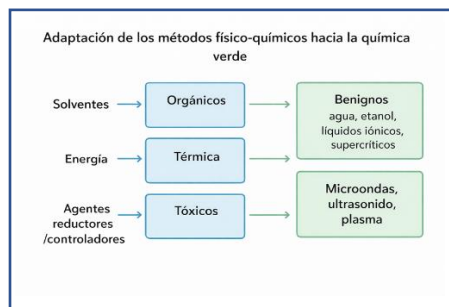


Figura 3. Adaptación de métodos físico-químicos a la química verde. Los métodos tradicionales se transforman mediante el uso de solventes benignos, fuentes de energía más eficientes y agentes reductores naturales, lo que reduce el impacto ambiental del proceso de síntesis. Adaptado de *Green chemistry for nanoparticle synthesis* (Duan y col. 2015).

CONTROL MORFOLÓGICO Y PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS

Uno de los hallazgos más consistentes es la capacidad de los métodos verdes para ejercer un control significativo sobre la morfología de las Bi-NS. La Tabla 1 resume la eficiencia de síntesis y el control morfológico reportados en estudios clave.

Tabla 1. Evaluación comparativa de métodos de síntesis verde de nanoestructuras de bismuto.

Referencia	Agente verde o método	Eficiencia de síntesis	Control morfológico	Morfologías principales
Kim y col., (2010)	Biomoléculas (Cisteína)	Moderada, a baja temperatura	Alto, ajustable por pH y concentración	Nanovarillas, nanolambres
Fang, (2021)	Extractos de plantas y microorganismos	Moderada, tiempos de reacción variables	Bueno, influenciado por los fitocompuestos	Esferas, varillas
Makarov y col., (2014)	Varios extractos de plantas	Alta tasa de reducción	Tamaño y forma influenciados por la especie vegetal	Nanopartículas esféricas
Sonkusare y col., (2018)	Microondas asistido por extracto	Muy alta, tiempos cortos	Control morfológico por tiempo de irradiación	Microflores, microhusos
Wang y col., (2014)	Método de termólisis	Alta, con temple rápido	Uniformidad en nanosferas	Nanosferas uniformes

Como se observa en la Tabla 1, parámetros como el pH, la temperatura, la concentración del extracto y el tiempo de reacción son críticos para definir el

tamaño y la forma finales de las Bi-NS. Por ejemplo, Kim y col. (2010) demostraron cómo una biomolécula simple, como la cisteína, permite la formación de nanovarillas u nanoalambres de sulfuro de bismuto bajo diferentes condiciones. La caracterización mediante técnicas como microscopía electrónica de transmisión (TEM), microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (XRD) confirma que las Bi-NS obtenidas mediante síntesis verde a menudo exhiben una alta cristalinidad y propiedades superficiales únicas conferidas por los agentes biológicos de cobertura, lo que, a su vez, influye en su rendimiento funcional.

APLICACIONES FUNCIONALES EN FOTOCATÁLISIS Y BIOMEDICINA

El potencial de aplicación de las Bi-NS obtenidas mediante síntesis verde, en particular en la remediación ambiental y la biomedicina, es de alto impacto.

Aplicaciones fotocatalíticas: Esta es el área de aplicación más explorada. Las Bi-NS han demostrado una eficiencia excepcional en la degradación de una amplia gama de contaminantes bajo luz visible. Oladipo y Mustafa (2023) usaron fotocatalizadores de bismuto para la degradación de antibióticos y colorantes orgánicos, destacando tasas de degradación superiores al 90% para compuestos como la tetraciclina y el azul de metileno. La formación de heterouniones (por ejemplo, con óxidos de grafeno u otros semiconductores) en rutas de síntesis verde ha permitido una mejora significativa en la separación de cargas y, por lo tanto, en la actividad fotocatalítica (Dutta y col., 2020; Batool y col., 2021).

Aplicaciones biomédicas: La biocompatibilidad inherente de las Bi-NS sintetizadas las convierte en de gran importancia en diversas aplicaciones médicas. Wei y col. (2016) desarrollaron nanopartículas de bismuto para su uso como agentes de contraste en tomografía computarizada (TC), mostrando una excelente visualización del tracto gastrointestinal in vivo. Otras aplicaciones prometedoras incluyen la liberación controlada de fármacos, en la que las Bi-NS pueden ser funcionalizadas con biomoléculas (Shahbazi y col., 2020), y la actividad antibacteriana, aprovechando el efecto biocida de los iones de bismuto y de las especies reactivas de oxígeno generadas (Fang, 2021).

ANÁLISIS CRÍTICO: FORTALEZAS Y DEBILIDADES DEL CAMPO

Para una evaluación integral, la Tabla 2 presenta un análisis crítico de los aspectos clave de la síntesis verde de Bi-NS, sintetizando las fortalezas y debilidades identificadas en la literatura.

Tabla 2. Análisis crítico de la síntesis verde de nanoestructuras de bismuto.

Aspecto	Fortalezas	Debilidades
Técnicas de síntesis	Amplio espectro de métodos; costo-efectivos; baja toxicidad; producen NS biocompatibles (Makarov y col., 2014; Gupta, 2023).	Protocolos a escala de laboratorio; variabilidad biológica; problemas de reproducibilidad (Mofijur y col., 2022).
Comprensión mecanicista	Conocimiento detallado del rol de biomoléculas (flavonoides, proteínas) en la reducción y estabilización (Nasrollahzadeh y col., 2018).	Mecanismos moleculares precisos a menudo no elucidados; falta de evidencia experimental directa (Mofijur y col., 2022).
Caracterización y control morfológico	Caracterización extensa (TEM, XRD); diseño morfológico mediante biomoléculas; propiedades comparables o superiores a las de métodos convencionales (Kim y col., 2010; Wang y col., 2014).	Caracterización a veces limitada a análisis básicos; estudios comparativos escasos; variabilidad entre lotes (Batool y col., 2021).
Aplicaciones multifuncionales	Alta actividad fotocatalítica; versatilidad en biomedicina (análisis de imágenes, liberación de fármacos); perfil de sostenibilidad (Shahbazi y col., 2020).	Estudios mayormente a nivel de prueba de concepto; validación in vivo o en campo limitado; evaluaciones de toxicidad insuficientes (Mofijur y col., 2022).

Este análisis revela una paradoja central en el campo: las mismas características que hacen atractiva la síntesis verde (el uso de sistemas biológicos complejos) también son la fuente de sus principales limitaciones (variabilidad y desafíos de control). Superar esta paradoja es el principal desafío para la comunidad científica.

LIMITACIONES Y FUTURAS DIRECCIONES

El análisis de la literatura expone limitaciones importantes que deben abordarse para impulsar el campo.

Limitaciones principales:

1. Escalabilidad limitada. La gran mayoría de los protocolos están optimizados para escalas de miligramos, con poca consideración de

los desafíos de producción a granel (Mofijur y col., 2022; Gupta, 2023).

2. Falta de protocolos estandarizados. La variabilidad en la preparación de extractos biológicos conduce a una pobre reproducibilidad y comparabilidad entre estudios (Nasrollahzadeh y col., 2018).
3. Análisis de toxicidad insuficiente. Si bien se promociona la biocompatibilidad, los estudios de toxicidad a largo plazo y el impacto ambiental de las Bi-NS verdes son escasos y a menudo preliminares (Shahbazi y col., 2020).
4. Enfoque desproporcionado en fotocatalisis. Otras aplicaciones potencialmente valiosas, como el almacenamiento de energía o la catálisis (no foto), están poco exploradas (Batool y col., 2021).

Direcciones futuras prioritarias:

1. Estudios mecanísticos *in situ*. Emplear técnicas espectroscópicas avanzadas para caracterizar *in situ* los compuestos intermedios de reacción y elucidar los mecanismos de reducción y estabilización a nivel molecular.
2. Ingeniería de procesos para la escalabilidad: Desarrollar biorreactores y procesos continuos para la síntesis verde, optimizando parámetros como la aireación, la mezcla y la relación sustrato-biomasa.
3. Estandarización y purificación: Establecer protocolos estandarizados para la preparación y caracterización de extractos biológicos. Explorar el uso de biomoléculas purificadas (enzimas, polisacáridos) para mejorar la reproducibilidad.
4. Evaluación de ciclo de vida (LCA) y toxicología. Realizar LCA completos para cuantificar los beneficios ambientales reales de las rutas de síntesis verde frente a las convencionales. Llevar a cabo estudios de toxicidad sistemáticos *in vitro* e *in vivo* para asegurar la seguridad de las aplicaciones

CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática consolida la evidencia que posiciona a la síntesis verde como una metodología robusta y prometedora para la fabricación de nanoestructuras de bismuto. Las rutas que emplean extractos de plantas, microorganismos y condiciones energéticamente eficientes no solo ofrecen una alternativa sostenible a los métodos convencionales, sino que también



permiten un control notable de la morfología y confieren propiedades superficiales únicas que mejoran el rendimiento funcional. Las aplicaciones en fotocatalisis ambiental y biomedicina demuestran un potencial significativo para abordar desafíos globales en contaminación y salud.

Sin embargo, la transición de esta tecnología prometedora desde el laboratorio hasta aplicaciones industriales y clínicas reales depende de la superación de desafíos críticos, en particular, la reproducibilidad, la escalabilidad y la validación de seguridad a largo plazo. Los esfuerzos de investigación futuros deben adoptar un enfoque interdisciplinario, integrando la nanociencia, la biología, la ingeniería de procesos y la toxicología para cerrar las brechas de conocimiento identificadas y materializar el potencial completo de las nanoestructuras de bismuto verdes para un futuro más sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de la Metalurgia de la Facultad de Metalurgia de la Universidad Autónoma de Coahuila, así como a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por el otorgamiento de la beca de manutención que hizo posible el desarrollo de este trabajo. (CVU 2081707).

REFERENCIAS

- Alam, N., Roy, N., Mandal, D. & Begum, N. A. (2013). Green chemistry for nanochemistry: Exploring medicinal plants for the biogenic synthesis of metal NPs with fine-tuned properties. *RSC Advances*, 3(30): 11935–11956.
- Batool, M., Nazar, M. F., Awan, A., Tahir, M., Rahdar, A., Shalan, A. E. & Zafar, M. N. (2021). Bismuth-based heterojunction nanocomposites for photocatalysis and heavy metal detection applications. *Nano-Structures and Nano-Objects*, 27: 100762.
- Brown, T. L., LeMay, H. E. & Bursten, B. E. (2004). *Química: La ciencia central* (Quinta edición). México: Ed. Prentice-Hall Hispanoamerica S.A. 1152 pp.
- Duan, H., Wang, D. & Li, Y. (2015). Green chemistry for nanoparticle synthesis. *Chemical Society Reviews*, 44(16): 5778–5792.

- Dutta, V., Sharma, S., Raizada, P., Kumar, R., Thakur, V. K., Nguyen, V. & Singh, P. (2020). Recent progress on bismuth-based Z-scheme semiconductor photocatalysts for energy and environmental applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6): 104505.
- Fang, L. (2021). Green synthesis of nanomaterials from sustainable materials for biosensors and drug delivery. *Sensors International*, 3: 100166.
- Gupta, D. (2023). Green and sustainable synthesis of nanomaterials: Recent advancements and limitations. *Environmental Research*, 231: 116316.
- Kim, J. H., Park, H., Hsu, C. & Xu, J. (2010). Facile synthesis of bismuth sulfide nanostructures and morphology tuning by a biomolecule. *Journal of Physical Chemistry C*, 114(21): 9634–9639.
- Makarov, V. V., Love, A. J., Sinityna, O. V., Makarova, S. S., Yaminsky, I. V., Taliansky, M. & Kalinina, N. O. (2014). Green nanotechnologies: Synthesis of metal nanoparticles using plants. *Acta Naturae*, 6(1): 35–44.
- Mofijur, M., Lagarto, J. L. & Punda, M. (2022). Green approaches in synthesising nanomaterials for environmental nanobioremediation: Technological advancements, applications, benefits and challenges. *Environmental Research*, 204: 111967.
- Nasrollahzadeh, M., Atarod, M., Sajjadi, M., Sajadi, S. M. & Issaabadi, Z. (2018). Plant-mediated green synthesis of nanostructures: Mechanisms, characterization, and applications. *Interface Science and Technology*, 28: 199–322.
- Oladipo, A. A. & Mustafa, F. (2023). Bismuth-based nanostructured photocatalysts for the remediation of antibiotics and organic dyes. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 14: 291–321.
- Patwardhan, S. V., Manning, J. R. H. & Chiacchia, M. (2018). Bioinspired synthesis as a potential green method for the preparation of nanomaterials: Opportunities and challenges. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 12: 110–116.
- Shahbazi, M., Faghfour, L., Ferreira, M. P. A., Figueiredo, P., Maleki, H. & Santos, H. A. (2020). The versatile biomedical applications of bismuth-based nanoparticles and composites: Therapeutic, diagnostic, biosensing, and regenerative properties. *Chemical Society Reviews*, 49(4): 1253–1321.
- Sonkusare, V. N., Chaudhary, R. G., Bhusari, G. S., Rai, A. R. & Juneja, H. D. (2018). Microwave-mediated synthesis, photocatalytic degradation and antibacterial activity of α - Bi_2O_3 microflowers/novel γ - Bi_2O_3 microspindles. *Nano-Structures and Nano-Objects*, 13: 121–131.
- Varma, R. S. (2012). Greener approach to nanomaterials and their sustainable applications. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 1(2): 123–128.
- Wang, S., Wang, L. & Huang, W. (2020). Bismuth-based photocatalysts for solar energy conversion. *Journal of Materials Chemistry A*, 8(46): 24307–24352.

Wang, Z., Jiang, C., Huang, R., Peng, H. & Tang, X. (2014). Investigation of optical and photocatalytic properties of bismuth nanospheres prepared by a facile thermolysis method. *Journal of Physical Chemistry C*, 118(2): 1155–1160.

Wei, B., Zhang, X., Zhang, C., Jiang, Y., Fu, Y., Yu, C. & Yan, X. (2016). Facile synthesis of uniform-sized bismuth nanoparticles for CT visualization of gastrointestinal tract in vivo. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(20): 12720–12726.

AGRONANOTECNOLOGÍA: PERSPECTIVAS E IMPLICACIONES EN LA GESTIÓN AMBIENTAL

AGRONANOTECHNOLOGY: PERSPECTIVES AND IMPLICATION IN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

RESUMEN

La innovación tecnológica característica del siglo XXI ha abierto múltiples posibilidades para incrementar la productividad, sostenibilidad y eficiencia en la agricultura, con la nanotecnología consolidándose como una herramienta estratégica para reducir el uso de fertilizantes y herbicidas químicos, al tiempo que atiende preocupaciones ambientales y de salud pública. Este trabajo analiza la viabilidad y el marco normativo ambiental respecto a la aplicación de nanomateriales en la agricultura, considerando tanto sus beneficios como los retos regulatorios que conlleva. La metodología se basó en una revisión documental realizada en bases de datos científicas reconocidas como ScienceDirect, Google Scholar y SciELO, abarcando literatura publicada entre 2010 y 2024 en inglés y español. Se utilizaron palabras clave como "nanotechnology", "agriculture", "nanofertilizers", "nanosensors" y "nanopesticides", combinadas con operadores booleanos para optimizar la búsqueda. De un total de aproximadamente noventa documentos identificados, se seleccionaron 45 tras un análisis preliminar de títulos y resúmenes. Estos se organizaron en categorías temáticas: aplicaciones de nanomateriales (nanofertilizantes, nanoplaguicidas, nanosensores y nanoherbicidas), evaluación de riesgos ambientales y de salud, y marcos regulatorios nacionales e internacionales, con especial énfasis en América Latina. Los resultados muestran que, si bien existen avances importantes en la investigación y aplicación de nanomateriales en la agricultura, la región latinoamericana carece de un marco regulatorio específico que norme su producción, uso y gestión. Esta ausencia genera incertidumbre para la adopción segura y sostenible de la nanotecnología en el sector agrícola, representando un desafío urgente para garantizar tanto la innovación como la protección ambiental y de la salud.

Palabras clave: nanotecnología; agricultura; normatividad ambiental; América Latina.

VIRAMONTES MÁRQUEZ, Juan Pablo ¹

ADAME MARTÍN, Angélica Evelyn ²

GARCÍA DE ALBA VERDUZCO, Javier Eugenio ³

RAMÍREZ HERNÁNDEZ, Blanca Catalina ³

GUTIÉRREZ MARTÍNEZ, Paulina Beatriz ⁴

MALDONADO VILLEGAS, Marcela Mariel ⁴

1. Unidad de Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., Zapopan, Jalisco, México.
2. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.
3. Departamento de Ecología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.
4. Departamento de Ciencias Ambientales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.

Correspondencia

marcela.maldonado@academicos.udg.mx
<https://orcid.org/0000-0002-0483-6951>

Fecha de recepción
 13 de agosto de 2025.

Fecha de aceptación
 14 de enero de 2026.

ABSTRACT

The technological innovation of the 21st century has opened multiple possibilities to increase productivity, sustainability, and efficiency in agriculture, with nanotechnology emerging as a strategic tool to reduce the use of chemical fertilizers and herbicides while addressing environmental and public health concerns. This work analyzes the feasibility and environmental regulatory framework in Mexico and Latin America regarding the application of nanomaterials in agriculture, considering both their benefits and the regulatory challenges involved. The methodology was based on a documentary review carried out in scientific databases such as ScienceDirect, Google Scholar, and SciELO, covering literature published between 2010 and 2024 in English and Spanish. Keywords including “nanotechnology”, “agriculture”, “nanofertilizers”, “nanosensors”, and “nanopesticides” were used in combination with Boolean operators to optimize the search. From an initial total of approximately 90 documents, 45 were selected after a preliminary analysis of titles and abstracts. These were organized into thematic categories: applications of nanomaterials (nanofertilizers, nanopesticides, nanosensors, and nanoherbicides), environmental and health risk assessments, and national and international regulatory frameworks, with a particular focus on Mexico and Latin America. The results show that, although significant progress has been made in research and applications of nanomaterials in agriculture, the Latin American region lacks a specific regulatory framework to govern their production, use, and management. This absence creates uncertainty regarding the safe and sustainable adoption of agricultural nanotechnology, representing an urgent challenge to ensure innovation while protecting both the environment and public health.

Keywords: nanotechnology; agriculture; environmental management; Latin America.

INTRODUCCIÓN

La nanotecnología surge del interés científico por controlar y manipular la materia a escalas extremadamente pequeñas, donde sus propiedades físicas, químicas y biológicas pueden diferir significativamente de las observadas a nivel macroscópico. Un punto de inflexión en el desarrollo conceptual de esta disciplina fue la conferencia “There’s Plenty of Room at the Bottom”,



presentada por Richard Feynman en 1959 ante la Sociedad Americana de Física. En ella, Feynman planteó la posibilidad de manipular átomos y moléculas de manera individual, sentando las bases teóricas de lo que posteriormente se consolidaría como nanotecnología (Bennett-Woods, 2008). Desde la segunda mitad del siglo XX, particularmente a partir de las ideas planteadas por Feynman y su posterior desarrollo experimental en las décadas de 1980 y 1990, la nanotecnología ha evolucionado hacia una disciplina que permite diseñar materiales con propiedades específicas como lo son las nanopartículas, transformando sectores entre los que destacan: la medicina (Ramsden, 2016), la energía y, más recientemente, la agricultura (Lira Saldivar, 2016). En este último ámbito, Lira Saldivar (2016) señala que sus aplicaciones incluyen el desarrollo de insumos más eficientes, la optimización en el uso de recursos naturales y la mejora en la protección de cultivos. En países como México, donde la agricultura desempeña un papel estratégico (Delgado, 2008; Villegas y col., 2024) tanto en lo económico como en lo ambiental, estas innovaciones representan una alternativa para enfrentar los desafíos asociados al deterioro de suelos, el uso intensivo del agua y la presión sobre la biodiversidad (Terán-Samaniego y col., 2025). Hablando de los campos de aplicación de la nanotecnología, estos son vastos y diversos, extendiéndose más allá de la ciencia básica hacia la medicina, la electrónica, la energía, la agricultura y el medio ambiente (Cuenca, 2017). En la medicina, por ejemplo, los nanomateriales como los hidróxidos dobles laminares (figura 1) permiten desarrollar sistemas de liberación de fármacos capaces de llegar con precisión a células específicas, como las cancerosas, minimizando los efectos secundarios en tejidos sanos. En la electrónica, la miniaturización impulsada por la nanotecnología ha permitido crear dispositivos cada vez más pequeños, rápidos y eficientes, marcando el ritmo del avance en la computación cuántica y los dispositivos móviles (Ramsden, 2016). En el campo energético, se desarrollan materiales que mejoran la eficiencia de las células solares y baterías, permitiendo almacenar y generar energía de manera más sostenible (Kamat, 2019). Incluso en la agricultura y el medio ambiente, la nanotecnología ofrece soluciones para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes y pesticidas (Kah y col., 2019), así como para la remediación de suelos y aguas contaminadas.



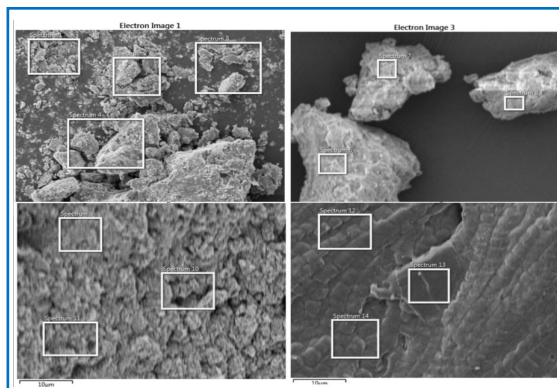


Figura 1. Micrografía obtenida mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) de nanomateriales tipo hidróxidos dobles laminares (HDL).

En México, 14 % del territorio es destinado al sector agrícola donde, entre cultivos anuales, cíclicos y perennes se destinan cerca de 53.1 mil toneladas por año de agroquímicos (INEGI, 2019)., sustancias químicas-biológicas que se utilizan como plaguicidas y fertilizantes, que por las filtraciones de residuos al subsuelo y ríos, conllevan altos riesgos de intoxicación para las personas y seres vivos, estos pueden derivar en leucemia, cáncer medular, interrupción de desarrollo en fetos, depresión del sistema inmune y problemas reproductivos como infertilidad y malformaciones genitales, en usuarios directos de los productos como en pobladores aledaños a las zonas agrícolas (Fabrega y col., 2011).

El incremento en 104 % en el uso de estos productos en los últimos 10 años nos lleva a demandar soluciones innovadoras y sustentables que representen alternativas más seguras y responsables, como la implementación de productos biotecnológicos dentro de la agricultura, sector que cada día demanda mayor producción de alimentos, y donde cada vez escasea más el agua por su mala gestión. Las herramientas biotecnológicas que nos permiten la implementación de métodos biológicos como la bioestimulación vegetal por medio de nanomateriales, son una promesa en la reducción en el uso de agroquímicos y aprovechamiento del agua en los cultivos mexicanos (Martínez Torreblanca y col., 2020).

Atendiendo a la problemática surge la denominada “agronanotecnología” como una herramienta transformadora en el campo agrícola, con la capacidad de mejorar la productividad y resistencia de los cultivos ante condiciones adversas. Es en este último sector donde radica el objetivo de este capítulo: analizar el papel emergente de la nanotecnología en la agricultura y sus implicaciones en la gestión ambiental en el contexto mexicano; se

examina cómo estas tecnologías pueden integrarse a prácticas más sostenibles, qué efectos potenciales pueden generar sobre los ecosistemas agrícolas y qué retos plantea su implementación en términos regulatorios, sociales y ecológicos.

METODOLOGÍA

Para la elaboración del trabajo se realizó una búsqueda documental en bases de datos científicas reconocidas como ScienceDirect, Google Scholar y SciELO, abarcando literatura publicada entre 2010 y 2024 en inglés y español. Se utilizaron palabras clave específicas como *nanotechnology*, *agriculture*, *environmental sustainability*, *agronanotechnology*, “*nanofertilizers*”, “*nanosensors*” y “*nanopesticides*”, combinadas con operadores booleanos (por ejemplo, “*nanotechnology and agriculture*”) para maximizar la relevancia de los resultados. Se consideraron artículos revisados por pares, revisiones sistemáticas y capítulos de libros relacionados con aplicaciones, riesgos y regulación de la nanotecnología en agricultura, excluyendo tesis, resúmenes y documentos sin acceso completo.

De un total inicial de aproximadamente 90 documentos, tras una revisión por título y resumen se seleccionaron 45 que se analizaron en profundidad. El total se organizó en categorías temáticas que incluyen aplicaciones de nanomateriales (nanofertilizantes, nanoplaguicidas, nanosensores, nanoherbicidas), evaluación de riesgos ambientales y de salud, y el marco regulatorio nacional e internacional, con especial énfasis en México y América Latina. El análisis consideró enfoques cronológicos y geográficos para identificar tendencias, vacíos normativos y desafíos en la implementación segura y sostenible de la nanotecnología agrícola.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

NANOTECNOLOGÍA EN LA AGRICULTURA (AGRONANOTECNOLOGÍA)

La industria agroalimentaria tiene el gran reto de cumplir no sólo la demanda actual de alimentos, la cual es destinada tanto a industrias ganaderas y dietas

humanas sino que además, por el aumento poblacional, se pronostica que debe incrementar de 70 a 100% la producción actual para el año 2050; este escenario plantea desafíos significativos para la ciencia agrícola, entre los que se incluyen el estancamiento en la productividad de los cultivos, la baja absorción de macro y micronutrientes, la disminución del contenido de materia orgánica en los suelos, la limitada disponibilidad de tierras cultivables, los efectos del cambio climático y la creciente escasez de agua. Es por todas estas razones que las investigaciones en la rama de la agronotecnología están en la mira a nivel mundial, como proyecto destinado principalmente a la aplicación de métodos nanotecnológicos en la agricultura (Zeng, Shakoor & Rui, 2025; Kumar y col., 2023) y suministro de alimentos en zonas marginadas de los países en vías de desarrollo, debido a la virtud en la producción sustentable de los alimentos, ya que se requiere menor volumen de productos químicos en los cultivos (Takeuchi y col., 2011), se presenta una mejora en la calidad e inocuidad de los productos, un mayor valor nutricional en los mismos y la elaboración de nuevos insumos alimenticios con novedosos aromas, texturas y sabores.

Un referente en el ámbito de la agronotecnología es Brasil, país pionero en América Latina con programas avanzados de investigación y desarrollo en este campo; a través de instituciones como la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa), Brasil impulsa proyectos que exploran el uso de nanomateriales en la agricultura para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, controlar plagas y minimizar el impacto ambiental de la producción agrícola (Poinern, 2015).

Algunos productos nanotecnológicos utilizados en la industria agrícola emplean nanopartículas (NPs), que pueden ser derivadas de carbono o elementos metálicos como el Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), y Plata (Ag), además de materiales como las denominadas nanoarcillas; existen diferentes clasificaciones, pero nosotros utilizaremos la proporcionada por Fraceto, L. F. y col., la cual distingue a cada sector por su función en la agricultura: Nanofertilizantes, nanoplaguicidas nanosensores, nanoherbicidas.

La figura 2 presenta una comparación de los principales métodos nanotecnológicos aplicados en distintos cultivos de importancia agrícola, con base en estudios científicos identificados en Google Scholar. En ella se observa la distribución del número de publicaciones relacionadas con el uso de nanopartículas metálicas, como las de zinc (ZnO), plata (Ag) y oro (Au), así

como con estrategias basadas en nanofertilizantes y nanoencapsulación de pesticidas, en cultivos como maíz, trigo, arroz, tomate y soja.

Los resultados evidencian que el tomate y el maíz concentran la mayor cantidad de investigaciones, particularmente en el desarrollo de nanofertilizantes y nanopartículas de ZnO, lo que refleja el interés científico por optimizar la productividad y el manejo nutrimental en cultivos de alta relevancia económica. En contraste, cultivos como la soja y el arroz presentan un menor número de estudios, lo que sugiere áreas de oportunidad para futuras investigaciones. Asimismo, la nanoencapsulación de pesticidas muestra una presencia constante en varios cultivos, destacando su potencial para mejorar la eficiencia en la protección vegetal y reducir el impacto ambiental asociado al uso convencional de agroquímicos.

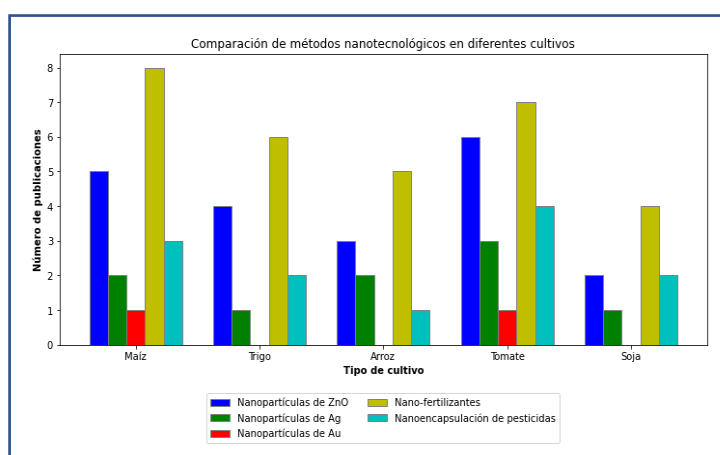


Figura 10. Comparación de nanomateriales y cultivos utilizados en estudios científicos de Google Scholar.

VIABILIDAD AMBIENTAL

El desarrollo de nuevos campos científicos requiere investigaciones que permitan evaluar sus aplicaciones prácticas. En el caso de la agronanotecnología, aunque algunos nanomateriales han demostrado estimular el crecimiento vegetal y aumentar la productividad, su implementación en cultivos comerciales depende de múltiples factores que aún deben ser evaluados.

Un primer aspecto a considerar para la implementación de nanomateriales en la agricultura es su relación costo–beneficio. El costo de producción depende del tipo de nanomaterial y, aunque suele ser ligeramente superior al de fertilizantes comerciales convencionales como el NPK, su función principal no es sustituirlos, sino complementar su uso. De esta manera, los nanomateriales pueden contribuir a reducir la cantidad de fertilizantes químicos aplicados, manteniendo el suministro adecuado de nutrientes a los cultivos.

En este contexto, los nanomateriales representan una alternativa para disminuir el consumo excesivo de insumos agrícolas y, en algunos casos, para proteger a las plantas frente a factores abióticos. Particularmente, los sistemas de liberación controlada permiten una aplicación más eficiente y dirigida de los compuestos, una estrategia que ha sido ampliamente utilizada en la nanomedicina para el transporte y liberación controlada de fármacos mediante materiales como polímeros y liposomas.

No obstante, uno de los aspectos más relevantes a evaluar es el posible impacto de ciertos nanomateriales y nanopartículas sobre los ecosistemas y la salud pública. Debido a su tamaño, estas partículas pueden atravesar membranas celulares e interactuar con biomoléculas u organelos, lo que podría alterar procesos biológicos fundamentales. Aunque los efectos de estas interacciones aún no se comprenden completamente, constituyen un área activa de investigación a nivel mundial.

En biotecnología vegetal, el uso de nanomateriales y otros compuestos bioestimulantes se explica en parte por el efecto hormético (figura 3), en el cual dosis bajas promueven el crecimiento y la respuesta al estrés, mientras que concentraciones elevadas pueden resultar tóxicas. Este fenómeno se ha observado en nanopartículas metálicas como las de plata y cobre, que a bajas concentraciones inducen mecanismos de defensa, pero a niveles altos pueden causar daño oxidativo y citotoxicidad (Robles & Cantú, 2017).

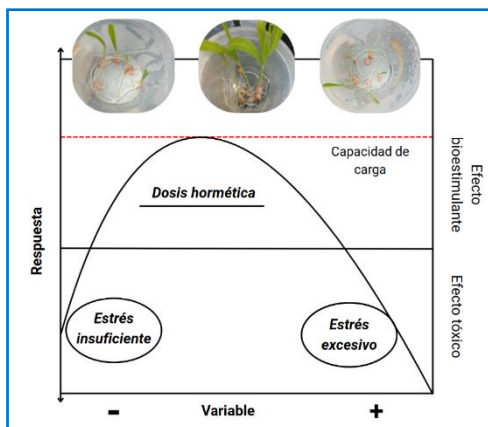


Figura 3. Gráfica del efecto hormético en plántulas de maíz.

Sin embargo, este mismo efecto plantea preocupaciones en términos de bioacumulación y toxicidad ambiental. A medida que las nanopartículas se acumulan en el suelo y los ecosistemas acuáticos, pueden afectar organismos no objetivo, interfiriendo con procesos fisiológicos esenciales (Handy y col., 2008) y alterando las cadenas tróficas. En el caso de la bioacumulación, algunos estudios han reportado que las nanopartículas

pueden persistir en tejidos vegetales y ser transferidas a consumidores primarios, lo que podría representar un riesgo tanto para la biodiversidad como para la seguridad alimentaria (Zhang y col., 2018). Por ello, es fundamental evaluar no solo su impacto en la productividad agrícola, sino también su persistencia y toxicidad en el medio ambiente.

VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS EN MÉXICO

La regulación de la nanotecnología en México, especialmente en el ámbito de la agronotecnología, se articula a través de diversas leyes y Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Entre las leyes más relevantes se encuentran la Ley General de Salud, que asegura la seguridad sanitaria de productos que incluyen nanomateriales, y la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, que establece criterios para evaluar el impacto ambiental de nuevas tecnologías. Además, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización facilita el establecimiento de normas técnicas relacionadas con la nanotecnología. En cuanto a las NOM, aunque no existen regulaciones específicas obligatorias para nanotecnologías, hay normas voluntarias como la NMX-R-10867-SCFI-2013, que aborda la caracterización de nanotubos de carbono, y la NMX-R-12901-1-SCFI-2015, que trata sobre la gestión de riesgos ocupacionales en el manejo de nanomateriales. También se han desarrollado lineamientos para regular las nanotecnologías, orientados a proteger el medio ambiente y la salud pública. En conjunto, este marco normativo está en constante evolución para adaptarse a los avances tecnológicos y asegurar prácticas seguras en el uso de nanomateriales en el sector agrícola.

La regulación de la nanotecnología en México presenta vacíos importantes que podrían comprometer tanto la salud pública como el medio ambiente, en particular, la ausencia de normativas específicas y de cumplimiento obligatorio para la manipulación y el uso de nanomateriales en el sector agrícola limita la gestión adecuada de sus riesgos. A ello se suma la escasa producción científica regional orientada al análisis de marcos regulatorios, situación que se refleja en la figura 4, donde se observa un menor número de publicaciones en revistas con publicaciones de habla hispana, como SciELO y Google Scholar; este contexto genera un amplio margen para interpretaciones normativas y la adopción de prácticas potencialmente inseguras. En concordancia con lo anterior, diversos estudios comparativos muestran que, si bien los nanoagroquímicos pueden mejorar la eficiencia de insumos agrícolas, su impacto ambiental y la evaluación de riesgos aún presentan incertidumbres debido a la falta de protocolos estandarizados y regulaciones claras (Kah y col., 2018; Su y col., 2022).

En ese sentido, la literatura reciente indica que la diversidad de nanomateriales y aplicaciones emergentes exige un desarrollo más robusto de marcos regulatorios que incorporen criterios específicos de seguridad, etiquetado y evaluación de efectos ambientales, especialmente en países en desarrollo. Sin estas directrices armonizadas, la adopción segura y responsable de nanotecnologías agrícolas enfrenta limitaciones que pueden retrasar su implementación efectiva y sostenible (An y col., 2022; Kah y col., 2018).

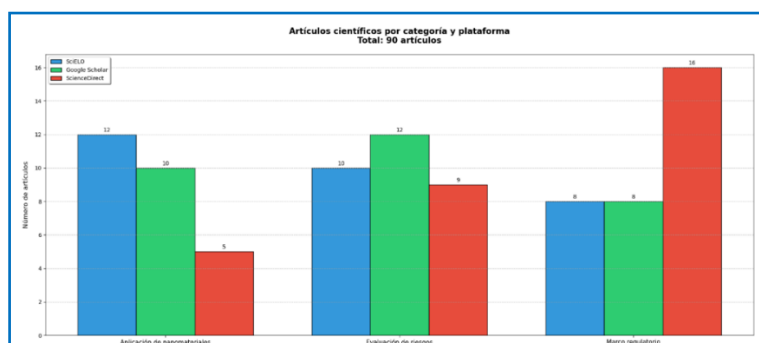


Figura 4. Gráfico de barras de comparación de las diferentes categorías en cada buscador.

Esto es especialmente preocupante, dado que la nanotecnología es un campo en rápida evolución y muchos productos que contienen nanomateriales están ingresando al mercado sin una evaluación exhaustiva de sus riesgos. Además, la falta de protocolos claros para la investigación y la evaluación de impactos ambientales y sanitarios crea incertidumbre en torno a los efectos a largo plazo de estos materiales. Sin un marco regulatorio robusto, es posible que se implementen prácticas agrícolas que, aunque prometedoras, no hayan sido suficientemente estudiadas en cuanto a sus repercusiones en la salud humana y en los ecosistemas. La dependencia de normas voluntarias puede resultar en una falta de consistencia en las prácticas de manejo, lo que podría dar lugar a situaciones de riesgo, donde productos que no cumplen con estándares de seguridad adecuados lleguen al mercado.

Según Anzaldo y Herrera-Basurto (2014), hasta la fecha de su publicación existían ocho normas voluntarias aprobadas y todas de tipo conceptual (NMX-J-699-AN CE-2014, NMX-R-10867 SCFI-2014, NMX-R-10929 SCFI-2014, NMX-R-12901 1-SCFI-2015, NMX-R-13830 SCFI-2014, NMX-R-27687 SCFI-2013, NMX-R 62622-SCFI ANCE-2014, NMX-R-80004 1-SCFI-2014, NMX-R 80004/3 SCFI-2014), pero cabe destacar, ninguna en relación con el campo de la agroindustria.

Hoy en día el número de normas aumenta a una cantidad de 16. “Si bien México cuenta con normas técnicas, los aspectos de salud y seguridad humana y ambiental no están suficiente ni adecuadamente cubiertos al tratarse de normas voluntarias, y los instrumentos de tipo vinculante en materia de salud, ambiente, seguridad laboral y agropecuaria no son adecuados para regular los peligros y riesgos potenciales implicados en la NT (nanotecnología) y sus productos” comenta Laura Saldivar del Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales (CEDUA); aspectos fundamentales de la vida de un producto como podría ser sus síntesis o los desechos de la misma no son tomados en cuenta cuando se habla de normatividad ambiental relacionada con nanotecnología. En México, la promulgación de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados marcó un hito al proporcionar un marco regulatorio que garantiza la utilización responsable y segura de los OGM en beneficio del desarrollo nacional, la biodiversidad y la salud pública. Este avance legislativo permitió abordar de manera integral los riesgos asociados con la biotecnología moderna, al tiempo que fomentó su aprovechamiento en sectores estratégicos como la agricultura, la salud y la industria alimentaria; sin embargo, en el campo emergente de la nanotecnología, el país carece de



un instrumento jurídico similar, lo que limita su potencial de desarrollo sostenible y su adecuada regulación (Foladori & Invernizzi, 2005).

La nanotecnología, al igual que los OGM, representa una tecnología disruptiva con aplicaciones en diversos ámbitos como la medicina, la energía, la electrónica y la industria manufacturera. Su capacidad para manipular la materia a nivel atómico y molecular implica beneficios significativos, como el diseño de materiales avanzados, tratamientos médicos más eficaces y soluciones energéticas más eficientes. No obstante, también plantea riesgos, entre ellos la exposición a nanopartículas con posibles efectos adversos en la salud y el medio ambiente (Shatkin, 2013), así como dilemas éticos relacionados con su uso y desarrollo. La ausencia de una ley de nanotecnología en México deja al país en desventaja frente a naciones que ya han establecido marcos legales para regular este sector. Un marco normativo permitiría garantizar que el desarrollo de esta tecnología se lleve a cabo de manera segura, ética y alineada con los intereses nacionales (Vega-Baudrit y col., 2023); además, fomentaría la inversión en investigación, el desarrollo de capacidades locales y la competitividad en mercados internacionales, asegurando que México no solo consume, sino que también genere conocimiento y tecnología en este campo.

CONCLUSIONES

La nanotecnología es un campo en expansión con un alto potencial para transformar sectores estratégicos como la agricultura. No obstante, su desarrollo y aplicación en México y en otros países de América Latina enfrentan retos importantes, particularmente en materia de regulación y gestión de riesgos. En este artículo se analizó el marco normativo vigente, identificando avances institucionales, pero también la ausencia de lineamientos específicos y de cumplimiento obligatorio que garanticen un uso seguro y responsable de los nanomateriales.

La evaluación de los posibles riesgos asociados a la nanotecnología, como la toxicidad, la contaminación y la bioacumulación, subraya la necesidad de adoptar un enfoque precautorio que priorice la investigación científica y la evaluación rigurosa de sus efectos antes de su implementación a gran escala. Al mismo tiempo, los beneficios potenciales de esta tecnología, como el aumento de la eficiencia agrícola, la reducción en el uso de agroquímicos y

el incremento de la productividad, evidencian su relevancia para el desarrollo sostenible del sector.

En este contexto, resulta fundamental fortalecer la colaboración entre el gobierno, la academia y la industria para construir un marco regulatorio que promueva la innovación tecnológica sin comprometer la protección ambiental ni la salud pública. Asimismo, la participación informada de la sociedad es clave para una adopción responsable de la nanotecnología, en concordancia con la necesidad de repensar la relación entre la sociedad y la naturaleza desde una racionalidad ambiental más crítica e inclusiva (Leff, 2004).

REFERENCIAS

- An, C., Sun, C., Li, N., y col. (2022). Nanomaterials and nanotechnology for the delivery of agrochemicals: Strategies towards sustainable agriculture. *Journal of Nanobiotechnology*, 20, 11. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-01214-7>
- Anzaldo, M., & Herrera-Basurto, R. (2014). Actores, visiones y perspectivas de la gobernanza de la regulación en las nanotecnologías en México. *Revista Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS)*, 1(1): 28-30.
- Bennett-Woods, D. (2008). *Nanotechnology: Ethics and society*. CRC Press: 10-32.
- Carranza-Patiño, M., Aragundi-Sabando, L., Macias-Barrera, K., Paredes-Sarabia, E., & Villegas-Ramírez, A. (2024). Conservación y manejo sostenible del suelo en la agricultura: una revisión sistemática de prácticas tradicionales y modernas. *Código Científico Revista De Investigación*, 5(E3): 1–28.
- Cuenca, J. (2017). *Nanotechnology: A comprehensive introduction*. Delve Publishing: 12-35.
- Fabrega, J., Luoma, S. N., Tyler, C. R., Galloway, T. S., & Lead, J. R. (2011). Silver nanoparticles: Behaviour and effects in the aquatic environment. *Environment International*, 37(2): 517–531. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.10.012>
- Foladori, G., & Invernizzi, N. (2005). Nanotecnología: ¿beneficios para todos o mayor desigualdad?. *Redes*, 11(21): 55–75. Universidad Nacional de Quilmes.
- Foladori, G., Invernizzi, N., & Záyago Lau, E. (Eds.). (2015). *Nanotecnologías en América Latina: Trabajo y regulación*. En G. Foladori, N. Invernizzi & E. Záyago Lau (Eds.), *Nanotecnologías en América Latina: Trabajo y regulación* (pp. 11-16). Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad: Porrúa.



- Handy, R. D., Owen, R., & Valsami-Jones, E. (2008). The ecotoxicology of nanoparticles and nanomaterials: Current status, knowledge gaps, challenges, and future needs. *Ecotoxicology*, 17(5): 315–325. <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0206-0>
- Kah, M., Tufenkji, N., & White, J. C. (2019). Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. *Nature Nanotechnology*, 14(6): 532–540.
- Kah, M., Kookana, R. S., Gogos, A., & Bucheli, T. D. (2018). A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nature Nanotechnology*, 13: 677–684. <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0131-1>
- Kamat, P. V. (2019). Quantum dot solar cells. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 10(9): 1959–1969.
- Kumar, A., Singh, G. A., Gourkhede, P. H., y col. (2023). Revolutionizing Agriculture: A Comprehensive Review of Nanotechnology Applications. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11): 3586–3603.
- Leff, E. (2004). Racionalidad ambiental: La reapropiación social de la naturaleza. Siglo XXI Editores, 6: 195-230.
- Lira Saldivar, R. H. (2016). Agronano tecnología: Nueva frontera de la revolución verde. Editorial Académica Española.
- Lozano Guzmán, A. A. (Coord.). (2008). La nanotecnología en México: Situación actual (Reportes CONCYTEQ, 6). Querétaro, Qro.: Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. 70 pp.
- Martínez Torreblanca, A., Tirado Hernández, J., Villalpando Castro, D., & Villapudua Rodríguez, G. (2020). Nanomedicina desde una perspectiva tecnológica: Revisión de literatura. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 8(16): 56–65. <https://doi.org/10.36825/riti.08.16.006>
- Poinern, G. E. J. (2015). A laboratory course in nanoscience and nanotechnology. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Ramsden, J. (2016). Nanotechnology: An introduction. William Andrew.
- Robles, M., & Cantú, L. (2017). Efectos de los nanomateriales en la salud y el ambiente. *Revista de Nanotecnología Aplicada*, 12(3): 45-60.
- Shatkin, J. (2013). Nanotechnology: Health and environmental risks. CRC Press, 2: 25-98.
- Shelley, T. (2006). Nanotecnología: Nuevas promesas, nuevos peligros. El Viejo Topo.
- Su, Y., Zhou, X., Meng, H., y col. (2022). Cost-benefit analysis of nanofertilizers and nanopesticides emphasizes the need to improve the efficiency of nanoformulations for



widescale adoption. *Nature Food*, 3: 1020–1030. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00647-z>

- Takeuchi, N., Basiuk, V., & Basiuk, E. (Eds.). (2011). *Nanociencia y nanotecnología*. En N. Takeuchi, V. Basiuk & E. Basiuk (Eds.), *Nanociencia y nanotecnología* (pp. 75-98). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Terán-Samaniego, K., y col. (2025). *Agroecology and Sustainable Agriculture: Conceptual Frameworks and Challenges*. *Sustainability*, 17(5): 1805.
- Torres, F. & Rojas Martínez, A. (2018). *Suelo agrícola en México: Retrospección y Prospectiva para la Seguridad Alimentaria*. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 9(3): 137-155.
- Vega-Baudrit, J. R., Camacho, M., Araya, A., & Corrales-Brenes, R. (2023). *Regulating nanotechnology: Ensuring responsible and safe innovation in the advancement of science and technology*. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 10(2): 1581.
- Zeng, S., Shakoor, N., & Rui, Y. (2025). *Nanotechnology and Agricultural Sustainability: A Review*. *Nanomaterials*, 15(23): 1755.
- Zhang, X., Zhao, L., Liu, W., & Wang, Y. (2018). *Bioaccumulation and phytotoxicity of nanoparticles in agricultural crops: A review*. *Environmental Science & Technology*, 52(15): 9006–9017

EDUCAR EN QUÍMICA PARA UN FUTURO SOSTENIBLE: LOS ODS COMO EJE FORMATIVO

*EDUCATING IN CHEMISTRY FOR A SUSTAINABLE FUTURE: THE
SDGs AS A CORE FRAMEWORK*

CANO SALAZAR, Lucía Fabiola^{1,2}

FLORES GUÍA, Tirso Emmanuel²

RESUMEN

La química, considerada como una ciencia central, desempeña un papel esencial en la comprensión y transformación de la materia, así como en el desarrollo de soluciones sostenibles ante los desafíos ambientales y sociales contemporáneos. Este trabajo analiza la importancia de integrar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en la enseñanza de la química universitaria, con el propósito de formar profesionales comprometidos con la sostenibilidad, la ética científica y el bienestar social. A partir de una revisión teórica y documental, se identifican los principales enfoques educativos que promueven esta integración, entre ellos la química verde, el aprendizaje basado en proyectos (ABP), el aprendizaje-servicio y el pensamiento sistémico. Diversos estudios demuestran que la inclusión de los ODS en los planes de estudio mejora la comprensión conceptual del alumnado, incrementa su conciencia ambiental y fortalece sus competencias científicas y sociales. Asimismo, se destacan experiencias universitarias en las que el diseño de materiales adsorbentes, la gestión de residuos o el uso de recursos digitales se vinculan directamente con los ODS 6, 9 y 12, promoviendo un aprendizaje significativo y contextualizado. Se concluye que educar en química para un futuro sostenible implica trascender la enseñanza tradicional, fomentando la creatividad, la reflexión crítica y la responsabilidad ética. De este modo, los ODS se consolidan no como un complemento curricular, sino como el eje formativo que orienta la educación científica hacia la construcción de un futuro equitativo, consciente y respetuoso con el planeta.

Palabras clave: educación superior; sostenibilidad; educación química; objetivos de desarrollo sostenible.

1. Centro de Estudios Universitarios San Isidro, Arteaga, Coahuila, México.
2. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México.

Correspondencia
lucia.cano@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2437-3728>

Fecha de recepción
19 de noviembre de 2025.
Fecha de aceptación
14 de enero de 2026.

ABSTRACT

Chemistry, recognized as a central science, plays a crucial role in understanding and transforming matter, as well as in developing sustainable solutions to contemporary environmental and social challenges. This paper analyzes the importance of integrating the Sustainable Development Goals (SDGs) into university-level chemistry education, aiming to train professionals committed to sustainability, scientific ethics, and social well-being. Based on a theoretical and documentary review, the study identifies key educational approaches that promote this integration, including green chemistry, project-based learning (PBL), service-learning, and systems thinking. Several studies demonstrate that the inclusion of the SDGs in chemistry curricula enhances students' conceptual understanding, increases their environmental awareness, and strengthens their scientific and social competencies. Likewise, university experiences in which students design adsorbent materials, manage waste, or use digital resources are directly linked to SDGs 6, 9, and 12, fostering meaningful and context-based learning. It is concluded that educating in chemistry for a sustainable future requires transcending traditional teaching methods by fostering creativity, critical reflection, and ethical responsibility. In this way, the SDGs are consolidated not as a complementary element but as the formative axis that guides scientific education toward the construction of an equitable, conscious, and environmentally responsible future.

Keywords: higher education; sustainability; chemistry education; sustainable development goals.

I. INTRODUCCIÓN

La química es la ciencia que estudia la composición, estructura, propiedades y transformaciones de la materia, así como las leyes que gobiernan dichas transformaciones (Brown et al., 2018) Su objetivo es comprender la naturaleza íntima de los materiales y las interacciones que ocurren entre las sustancias, proporcionando una base racional para los fenómenos naturales y tecnológicos que sustentan la vida moderna. Por su capacidad de conectar conocimientos de la física, la biología, las matemáticas, la geología y la ingeniería, se le reconoce como la ciencia central, un pilar sobre el cual descansan otras áreas del conocimiento científico y tecnológico (Atkins et al., 2023; Romero Mireles, 2023).



Esta posición privilegiada otorga a la química un papel estratégico en el desarrollo sostenible. En el contexto actual de crisis climática, contaminación, pérdida de biodiversidad y agotamiento de recursos naturales, el conocimiento químico se convierte en una herramienta esencial para diseñar soluciones innovadoras que permitan equilibrar las necesidades humanas con la protección del medio ambiente (Makinde et al., 2024; Mitarlis et al., 2023). En las últimas décadas, ha cobrado relevancia la química verde, cuyo propósito es diseñar productos y procesos químicos que reduzcan o eliminen el uso y la generación de sustancias peligrosas (Anastas & Warner, 2000; Anastas & Zimmerman, 2018) Este enfoque no solo responde a imperativos técnicos, sino también éticos, al promover una ciencia responsable y comprometida con la sostenibilidad.

De manera paralela, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establecidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015, constituyen un marco global para erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar la prosperidad de todos. Los 17 objetivos que conforman la Agenda 2030 representan una guía integral que invita a la colaboración entre gobiernos, instituciones educativas, sector productivo y sociedad civil (Naciones Unidas, 2015). Dentro de ellos, el ODS 4 promueve una "educación inclusiva, equitativa y de calidad", y reconoce la enseñanza científica como herramienta transformadora para alcanzar los demás objetivos (UNESCO, 2022).

En este escenario, la educación superior desempeña un papel determinante (Alcántara-Rubio et al., 2022). Las universidades, como generadoras de conocimiento, innovación y pensamiento crítico son espacios estratégicos para formar profesionales capaces de aplicar los principios de sostenibilidad en su quehacer disciplinar. En particular, la enseñanza de la química puede y debe alinearse con los ODS, fomentando el aprendizaje significativo, la conciencia ética y la acción social (Alcántara-Rubio et al., 2022). Estudios recientes demuestran que integrar los ODS en las ciencias químicas mejora la comprensión conceptual y fortalece el compromiso del estudiantado con los problemas ambientales y sociales de su entorno (Iniesta Valcárcel & Martínez Lirola, 2020; Wissinger et al., 2021)

II. LA QUÍMICA COMO CIENCIA CENTRAL Y SU VÍNCULO CON LA SOSTENIBILIDAD

El conocimiento químico se encuentra en el núcleo de la innovación tecnológica y científica. Desde la producción de materiales avanzados hasta la generación de energías limpias o la descontaminación de aguas, la química ofrece herramientas esenciales para el desarrollo sostenible (Atkins et al., 2023). Su carácter integrador le permite conectar la investigación básica con la aplicación práctica, haciendo posible el diseño de soluciones que equilibren eficiencia económica y respeto ambiental.

La química verde o química sostenible surgió como respuesta a los impactos negativos de la industria química tradicional. Anastas y Zimmerman (2018) enfatizan que esta disciplina busca reducir el uso de recursos no renovables y eliminar sustancias tóxicas a través de doce principios que promueven la prevención, la eficiencia energética y la innovación responsable. Así, la sostenibilidad se convierte en una extensión natural de la química, una nueva dimensión que orienta su práctica hacia el bien común (Anastas & Zimmerman, 2018).

Por otra parte, Mahaffy y col. (2019) proponen el enfoque del systems thinking (pensamiento sistémico), el cual permite a los estudiantes analizar los procesos químicos dentro de un contexto global e interconectado. Este modelo fomenta una comprensión más profunda de cómo las decisiones científicas y tecnológicas influyen en el ambiente y en la sociedad, favoreciendo una educación química con conciencia planetaria (Mahaffy et al., 2019).

III. LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SU RELEVANCIA EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Los ODS son un referente indispensable para articular la enseñanza universitaria con los desafíos contemporáneos. Entre ellos, varios se vinculan directamente con la química: el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura), el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 13 (Acción por el clima).

La UNESCO (2022) subraya que la educación para el desarrollo sostenible debe transformar los modelos de enseñanza y aprendizaje, promoviendo el pensamiento crítico, la resolución de problemas complejos y la toma de decisiones éticas. En este sentido, la educación química puede funcionar como catalizador del cambio, al conectar los contenidos disciplinares con los problemas reales del entorno (UNESCO, 2022).

Wissinger y col. señalan que la integración de los ODS en los cursos de química promueve la reflexión sobre el impacto social de la ciencia, aumentando la empatía y la conciencia ambiental del alumnado (Wissinger et al., 2021). De manera similar, Aguirregabiria y col. (2020) demostraron que los proyectos interdisciplinarios basados en los ODS potencian el aprendizaje significativo y fomentan la cooperación entre disciplinas científicas y sociales (Aguirregabiria Barturen & García Olalla, 2020).

El reto, por tanto, consiste en pasar de un modelo de enseñanza centrado en la transmisión de contenidos a uno basado en la acción transformadora, donde el estudiante sea protagonista en la búsqueda de soluciones sostenibles.

IV. INTEGRAR LOS ODS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA: ESTRATEGIAS Y EXPERIENCIAS

Diversas estrategias pedagógicas han demostrado ser efectivas para incorporar los ODS en la enseñanza de la química. Entre ellas destacan el aprendizaje basado en proyectos (ABP), el aprendizaje-servicio (ApS) y el pensamiento sistémico.

Mirtalis y col. (2023) documentaron una experiencia universitaria donde los estudiantes aplicaron principios de química verde para diseñar materiales adsorbentes destinados al tratamiento de aguas residuales, vinculando el ODS 6 y el ODS 12. Este tipo de prácticas fomenta competencias científicas y sociales, incrementando la motivación y la responsabilidad ambiental de los alumnos (Mirtalis et al., 2023).

Asimismo, Burmeister y col. (2012) destacan que el aprendizaje-servicio refuerza la conexión entre ciencia y ciudadanía al involucrar a los estudiantes

en proyectos comunitarios que promueven la sostenibilidad (Burmeister et al., 2012). Por su parte, Ippoliti y col. (2022) demuestran que el uso de recursos digitales interactivos y simulaciones facilita la comprensión de procesos complejos, como el análisis del ciclo de vida de productos químicos o la evaluación de su impacto ambiental (Ippoliti et al., 2022).

Estas experiencias sugieren que integrar los ODS en la enseñanza de la química no implica añadir contenidos, sino reorientar la práctica docente hacia una formación crítica, reflexiva y participativa, donde los estudiantes construyan conocimiento al servicio de la sostenibilidad.

V. RETOS Y OPORTUNIDADES HACIA UNA EDUCACIÓN QUÍMICA SOSTENIBLE

Aunque los avances son notables, la integración de la sostenibilidad en la enseñanza de la química enfrenta desafíos estructurales. La resistencia al cambio curricular, la falta de capacitación docente y la escasez de materiales didácticos adecuados son obstáculos recurrentes (Burmeister et al., 2012; UNESCO, 2022). Además, la evaluación tradicional basada en resultados cognitivos limita el desarrollo de competencias transversales vinculadas con la ética y la sostenibilidad.

No obstante, estas limitaciones también representan oportunidades. El fortalecimiento de redes académicas, la actualización docente y la investigación interdisciplinaria pueden consolidar una educación química más comprometida con los ODS. Proyectos de investigación aplicada, como el desarrollo de materiales para remediación ambiental o tecnologías de energía limpia, evidencian que la química tiene el potencial de ser una fuerza motriz para el cambio social y ambiental (Anastas & Zimmerman, 2018).

Educar en química para un futuro sostenible significa, en última instancia, formar ciudadanos científicos capaces de vincular la excelencia técnica con la responsabilidad ética. En la medida en que las universidades integren los ODS en su quehacer docente e investigativo, se estará formando una generación de químicos capaces de transformar la ciencia en una herramienta para el bienestar colectivo y la preservación del planeta.

VI. CONCLUSIONES

Educar en química para un futuro sostenible es mucho más que enseñar fórmulas o reacciones: es formar ciudadanos críticos, éticos y comprometidos con su entorno. La integración de los ODS en la educación química representa una oportunidad para vincular la ciencia con la vida, orientando el conocimiento hacia la construcción de un mundo más justo y equilibrado.

La química, como ciencia central, posee el potencial de liderar la transición hacia un desarrollo sostenible, siempre que su enseñanza se base en principios de responsabilidad ambiental y justicia social. Las universidades tienen la responsabilidad de promover una formación científica que fomente la creatividad, la reflexión y la acción consciente. Solo así se podrá garantizar que las futuras generaciones de químicos contribuyan activamente a los desafíos globales de la Agenda 2030.

Educar en química para un futuro sostenible no es una opción, sino una necesidad. Requiere compromiso institucional, innovación docente y una visión integral que combine ciencia, ética y humanidad. En este camino, los ODS no son un complemento, sino el eje formativo que guiará a la educación científica hacia un porvenir más equitativo, consciente y respetuoso con el planeta.

REFERENCIAS

- Aguirregabiria Barturen, J., & García Olalla, A. M. (2020). Aprendizaje basado en proyectos y desarrollo sostenible en el Grado de Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 38(2): 5–24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2717>
- Alcántara-Rubio, L., Valderrama-Hernández, R., Solís-Espallargas, C., & Ruiz-Morales, J. (2022). The implementation of the SDGs in universities: a systematic review. *Environmental Education Research*, 28(11): 1585–1615. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2063798>
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (2000). *Green Chemistry* (Vol. 1). Oxford University Press Oxford. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198506980.001.0001>

- Anastas, P. T., & Zimmerman, J. B. (2018). The United Nations sustainability goals: How can sustainable chemistry contribute? *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13: 150–153. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.017>
- Atkins, P., Laverman, L., Jones, L., Young, K., & Patterson, J. E. (2023). *Chemical Principles: The Quest For Insight* (4a ed., Vol. 1). WH Freeman & Company.
- Brown, T. L., Le May, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., Stoltzfus, M. W., & Lufaso, M. W. (2018). *Chemistry : The central Science* (14a ed.). Pearson.
- Burmeister, M., Rauch, F., & Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 13(2): 59–68. <https://doi.org/10.1039/C1RP90060A>
- Iniesta Valcárcel, J., & Martínez Lirola, M. (2020). Objetivos de Desarrollo Sostenible y Educación para el Desarrollo Sostenible: Aplicaciones a la Enseñanza de la Asignatura Cinética Química del Grado en Química. *ENSAYOS. Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 2(35): 17–33. <http://www.revista.uclm.es/index.php/ensayos-Consultadaenfecha>
- Ippoliti, F. M., Chari, J. V., & Garg, N. K. (2022). Advancing global chemical education through interactive teaching tools. *Chemical Science*, 13(20): 5790–5796. <https://doi.org/10.1039/D2SC01881K>
- Mahaffy, P. G., Matlin, S. A., Holme, T. A., & MacKellar, J. (2019). Systems thinking for education about the molecular basis of sustainability. *Nature Sustainability*, 2(5): 362–370. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0285-3>
- Makinde, S. O., Ajani, Y. A., & Abdulrahman, M. R. (2024). Smart Learning as Transformative Impact of Technology: A Paradigm for Accomplishing Sustainable Development Goals (SDGs) in Education. *Indonesian Journal of Education Research and Technology*, 4(3): 66097. <https://doi.org/10.17509/ijert.v4i3.66097>
- Mitarlis, M., Azizah, U., & Yonata, B. (2023). The integration of green chemistry principles in basic chemistry learning to support achievement of Sustainable Development Goals (SDGs) through education. *Journal of Technology and Science Education*, 13(1): 233. <https://doi.org/10.3926/jotse.1892>
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*.
- Romero Mireles, L. L. (2023, diciembre 4). *Química, ciencia central para la humanidad*. Gaceta UNAM. <https://www.gaceta.unam.mx/quimica-ciencia-central-para-la-humanidad/>
- UNESCO. (2022). *Education for Sustainable Development: Towards achieving the SDGs (ESD for 2030)*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>

Wissinger, J. E., Visa, A., Saha, B. B., Matlin, S. A., Mahaffy, P. G., Kümmerer, K., & Cornell, S. (2021). Integrating Sustainability into Learning in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 98(4): 1061–1063. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00284>



En junio de 2025, a través de la Coordinación del Doctorado de Arquitectura y Urbanismo (DAU), se llevó a cabo el **Segundo Coloquio del DAU, Avance de Tesis Doctoral**. El evento fue organizado por el cuerpo académico Tecnología en la Arquitectura.

La excelencia académica del evento fue amparada gracias al trabajo y gestión realizada por **Comité Organizador**:

Dra. María Eugenia Molar Orozco
Dra. Reyna Areli Vázquez Aguilar
Dra. Areli Magdiel López Montelongo
Dra. Gabriela Carmona Ochoa

Así como al apoyo del Director de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Coahuila, Mtro. Jesús Alberto Padilla Garza.

Se presentaron once trabajos originales de investigación científica básica, aplicada o educativa relacionados con los siguientes ejes temáticos:

Eje 1. Cultura Material y patrimonio
Eje 2. Espacio, Paisaje y Hábitat
Eje 3. Vivienda y asentamientos humanos
Eje 4. Territorio y ambiente

La organización de los arbitrajes la llevó a cabo el **Comité Científico Evaluador del Coloquio** integrado por los miembros mencionados a continuación:

Dra. Julia Mundo Hernández
Dra. Káteri Samantha Hernández Pérez
Dra. Yolanda Guadalupe Aranda Jiménez
Dr. Alejandro Reyes Ortega
Dr. Gonzalo Bojorquez Morales
Dr. Andreu Marfull Pujadas
Dr. Iván Alejandro López Nieto
Dra. Aloma Frigerio
Dra. Laura Moreno Chimely
Dra. Ramona Alicia Romero Moreno

Solamente cuatro trabajos, presentados en modalidad oral, fueron aceptados por su calidad. En este número, Cienciacierta los publica en la siguiente Sección Especial.



MATERIALES DE DESECHO EN VIVIENDAS PRECARIAS DEL SUR DE TAMAULIPAS: EVALUACIÓN FISICOQUÍMICA Y SUS REPERCUSIONES PARA LA SALUD

*WASTE MATERIALS IN PRECARIOUS HOUSING IN SOUTHERN
TAMAULIPAS: PHYSICOCHEMICAL EVALUATION AND HEALT
REPERCUSSIONS*

BRICEÑO HERNÁNDEZ, Abril Nayeli¹

ROUX GUTIERREZ, Rubén Salvador²

SUASTES ACOSTA, Sandra Luz³

RESUMEN

El presente artículo trata la problemática de las viviendas precarias en el sur de Tamaulipas, exactamente en las colonias Huatulquito, Acapulquito y Luis Donaldo Colosio, donde gran parte de sus habitantes recurren a la construcción de sus viviendas utilizando materiales de desecho debido a las dificultades que tienen por acceder a una vivienda digna. Los materiales de desecho suelen ser láminas oxidadas, madera reciclada, triplay deteriorado, cartón usado, plásticos y blocks de concreto de baja calidad que no cumplen con los estándares de seguridad ni control sanitario. El estudio se desarrolló bajo una recolección de muestras de madera, cartón, triplay, lámina, plástico y block en la zona de estudio para realizar posteriormente un análisis en el laboratorio para estudiar el pH, la corrosión, la retención de agua, el desarrollo de bacterias y hongos y lixiviación de metales de estos materiales.

Los resultados mostraron que algunos de estos materiales cuentan con una alta capacidad para retener humedad, así como aspectos que crean la reproducción de microorganismos. La madera y el plástico llegaron a niveles incontables de microbios; el cartón y el triplay mostraron una gran abundancia en hongos mientras que la lámina evidenció alta vulnerabilidad a la corrosión. Aunado a lo anterior, con la lixiviación se encontró la presencia de metales como plomo, cadmio y níquel, los cuales son conocidos por ser un riesgo para la salud, provocando enfermedades respiratorias, dermatológicas y neurológicas. Esto indica que la construcción con materiales de desecho no sólo disminuye la calidad de la estructura de vivienda, sino que se vuelve una amenaza para sus habitantes en cuanto a salud se trata. Se concluye que es necesario establecer normativas de control de calidad,

1. Instituto de Estudios Superiores de Tamaulipas, Altamira, Tamaulipas, México.
2. Área de Investigación de Arquitectura, Instituto de Estudios Superiores de Tamaulipas, Altamira, Tamaulipas, México.
3. Coordinación de Investigación, Instituto de Estudios Superiores de Tamaulipas, Altamira, Tamaulipas, México.

Correspondencia
abril.briceno@iest.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0004-6572-1527>

ESPECIAL

promover alternativas constructivas sustentables y fomentar estrategias participativas que mejoren la habitabilidad en contextos vulnerables.

Palabras clave: vivienda precaria; salud ambiental; materiales de desecho; compuestos tóxicos.

ABSTRACT

This article discusses the problem of poor housing in southern Tamaulipas, particularly in the communities of Acapulquito, Huatulquito, and Luis Donaldo Colosio. Because of the challenges they encounter in finding acceptable housing, many locals turn to constructing their homes out of waste materials. Rusty sheets recycled wood, decayed plywood, old cardboard, plastics and subpar concrete blocks that don't adhere to safety of health regulations are typically among the waste items. In order to investigate the pH, corrosion, water retention, bacterial and fungal development, and metal leaching of the materials, samples of wood, cardboard, plywood, sheet metal, plastic and concrete blocks were collected from the surrounding zone and subjected to laboratory analysis.

The results showed that some of these materials have a high capacity to retain moisture, as well as aspects that promote the reproduction of microorganisms. Wood and plastic reached uncountable level of microbes; cardboard and plywood showed a high abundance of fungi, while sheet metal showed high vulnerability to corrosion. In addition to the above, leaching revealed the presence of metals such as lead, cadmium and nickel, which are known to be a health risk, causing respiratory, dermatological and neurological diseases. This indicates that building with waste materials not only reduces the quality of the housing structure but also becomes a threat to the health of its inhabitants. It is concluded that it is necessary to establish quality control standards, promote sustainable construction alternatives and encourage participatory strategies that improve habitability in vulnerable contexts.

Keywords: precarious housing; environmental health; waste materials; toxic compounds.

ESPECIAL



CienciAcierta

I. INTRODUCCIÓN

En México, el rezago habitacional se mantiene como un problema en su estructura. Para 2022, se estimaron 8.98 millones de viviendas en rezago (definido por materiales precarios, falta de sanitario o hacinamiento) a nivel nacional. En Tamaulipas, CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) reportó que en 2018 al menos 282, 600 personas presentaron estas carencias y que los factores críticos incluyeron pisos de tierra, techos y paredes hechos con material de desecho y hacinamiento.

En el sur de Tamaulipas, esta situación se presenta especialmente en las colonias Huatulquito, Acapulquito en Altamira y en la colonia Luis Donaldo Colosio en Tampico, donde muchas familias practican la construcción de sus viviendas con materiales de desecho debido a las dificultades para tener una vivienda digna (véase figura 1; véase figura 2). Los habitantes de estas colonias utilizan láminas oxidadas, triplay deteriorado, madera reciclada, cartón, plásticos dañados y blocks de concreto de baja calidad que generan condiciones de habitabilidad insalubres que pueden dañar directamente la salud física, respiratoria y dermatológica de las habitantes.



Figura 1. Fachada de una vivienda precaria en la colonia Huatulquito. Fotografía de la autora.



Figura 2. Fachada de una vivienda precaria en la colonia Acapulquito. Fotografía de la autora.

ESPECIAL



CienciAcierta

Partiendo de la perspectiva del concepto de salud ambiental (Von Seidlein et. al., 2021), se ha observado que la humedad, el moho y una ventilación deficiente están asociados con enfermedades respiratorias como el asma, así como con trastornos cardiovasculares relacionados con las altas temperaturas en los interiores de las casas.

Por este motivo, en este artículo se analizan parámetros como la retención del agua, el pH y la concentración microbiana en materiales que son de uso frecuente en la mayoría de las viviendas precarias del área estudiada. El estudio se fundamenta, por un lado, en la literatura relacionada con vivienda, autoconstrucción y los riesgos de los asentamientos irregulares (CONEVAL, 2020; Alonso y Torres, 2021), y por otro lado, en el diseño enfocado a la salud (Martínez-Villalba, 2020).

La Organización Mundial de la Salud (2018) y Pérez y Salas (2020) han señalado en diversos estudios sobre el impacto que puede llegar a causar la vivienda en la salud sobre su entorno construido, mencionando la posible aparición de alergias, infecciones respiratorias, estrés, entre otras enfermedades. Sin embargo, aún existe poca regulación en lo que respecta a los efectos de los materiales utilizados para construir viviendas en entornos de alta marginación, especialmente aquellos que se componen de desechos sin monitoreo sanitario.

El problema de investigación en este documento cuestiona lo siguiente: ¿Cuáles propiedades microbiológicas se encuentran en los materiales de desecho de las viviendas precarias del sur de Tamaulipas y cómo afectan a la salud de sus residentes? Este documento pertenece al eje de vivienda y asentamientos humanos relacionado con el Doctorado en Urbanismo y Arquitectura por parte de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, donde se tomaron muestras para análisis fisicoquímicos y microbiológicos en laboratorio. Los instrumentos de vivienda no están incluidos en este documento.

A pesar de que existen avances en la normatividad mexicana hablando de habitabilidad, se continúan haciendo presentes déficits en cuanto a regulación y supervisión de los materiales que se utilizan en zonas vulnerables. Es por ello, que el propósito de estudio fue examinar la evaluar la constitución física y química de los materiales de desecho que se utilizan para edificar viviendas en el sur de Tamaulipas, así como su efecto sobre la salud de sus residentes.

ESPECIAL



CienciAcierta

Se busca con esto divulgar pruebas que favorezcan el diseño de estrategias y sugerencias para optimizar las condiciones habitacionales en áreas vulnerables.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se elaboró bajo un enfoque metodológico cuantitativo, transversal, de laboratorio con diseño experimental simple (Creswell, 2018), que permitió analizar los materiales de desecho utilizados en viviendas precarias del sur de Tamaulipas y encontrar su posible impacto en la salud.

2.1 MARCO ESPACIAL Y SELECCIÓN DE MUESTRA

Esta investigación se elaboró bajo un enfoque metodológico cuantitativo, transversal, de laboratorio con diseño experimental simple (Creswell, 2018), que permitió analizar los materiales de desecho utilizados en viviendas precarias del sur de Tamaulipas y encontrar su posible impacto en la salud.

2.1 ZONA DE ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS

La investigación se sitúa en las colonias Acapulquito, Huatulquito y Luis Donaldo Colosio en los municipios de Altamira y Tampico, Tamaulipas. Estas colonias son conocidas por sus métodos de construcción de viviendas sin supervisión y con materiales de calidad inferior.

Se eligieron seis materiales que se emplean con frecuencia en la zona de estudio: triplay, cartón, block de concreto, lámina metálica, plástico y madera. Los residentes proporcionaron detalles contextuales sobre sus hogares y dieron su autorización para que se llevara a cabo la recolección de las muestras.

2.2 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN

Con el fin de seguir con los procedimientos fundamentales de un análisis de laboratorio adecuado, se recogieron las muestras, se les asignó una identificación basada en sus propiedades físicas y se mantuvieron acomodadas en recipientes especiales.

ESPECIAL



CienciAcierta

2.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Y QUÍMICO

Para identificar propiedades esenciales de las muestras, se realizaron varios estudios químicos:

- pH y temperatura superficial para determinar la actividad reactiva del elemento.
- Corrosión básica y ácida, aplicando soluciones estándar para comprobar la resistencia a la degradación.
- Retención de agua utilizando el método gravimétrico.
- Cultivo microbiológico: medio estándar para el conteo de bacterias, tinción de Gram para la morfología y gelatina de papa con dextrosa para hongos y levaduras.
- La lixiviación, que consiste en formar combinaciones homogéneas de 100 gramos de cada muestra con una mezcla de solución ácida y básica en agua destilada para después proceder a la digestión ácida y espectrometría de absorción atómica (de Cd, Ni, Pb y Zn).

2.4 CATEGORIZACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados se clasificaron en cinco categorías: la naturaleza y el origen del material, así como las propiedades químicas, microbiológicas y físicas.

III. RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados obtenidos por medio del análisis fisicoquímico y microbiológico de seis materiales que se emplean con frecuencia en viviendas autoconstruidas en las colonias investigadas del sur de Tamaulipas (véase tabla 1) (véase figura 2 y 3).



Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas por material.

Parámetros	Unidades	Materiales					
		Madera	Cartón	Block	Triplay	Plástico	Lámina
pH	UpH	9.24	8.04	9.12	7.94	8.74	6.94
Temperatura	°C	23.5	23.6	23.4	23.8	23.3	23.6
Corrosión Ácido	NA	+++	+++	+++	+++	++	+++
Corrosión Base	NA	++	+++	+	++	+	+++
Retención Agua	%	13.518	34.79	3.18	8.349	7.753	2.783
Cuenta bacteriana	UFC/g	Incontable	5	7	4	Incontable	Incontable
Hongos / Levadura	UFC/g	8	Incontable	5	Incontable	6	40

Datos con base en ensayos de laboratorio.

**Figuras 3 y 4.** Materiales utilizados en el procedimiento físico-químico.

3.1 pH

El pH es una medida de la alcalinidad o acidez que tiene un compuesto. Un pH elevado señala un ambiente alcalino, en cambio un pH bajo indica que es ácido. Los niveles extremos de pH en los materiales de construcción pueden

ESPECIAL

**CienciAcierta**

favorecer la descomposición o la creación de entornos no saludables (López y Vargas, 2019).

Exceptuando la lámina metálica (6.94), todos los materiales analizados tienen un pH ligeramente alcalino. El block (9.12) y la madera (9.24) dieron como resultado una alcalinidad más alta en comparación con el triplay y la lámina que reflejaron cifras neutras.

3.2 TEMPERATURA

La temperatura superficial de los materiales fue calculada en condiciones estables del ambiente varió entre 23.3°C y 23.8°C. A pesar de que las diferencias son pequeñas, es importante tener en cuenta que algunos materiales tienen la capacidad de acumular y propagar calor cuando están expuestos al sol, lo cual puede impactar el confort térmico en espacios interiores (Morales, 2022).

3.3 CORROSIÓN DE ÁCIDA Y BÁSICA

Con soluciones ácidas y básicas comunes se llevaron a cabo los ensayos de corrosión, analizando el desgaste del material en su superficie. La mayoría de los materiales presentan una reacción fuerte (+++) ante soluciones ácidas, lo que señala que son altamente susceptibles a sufrir degradación química. Tanto el cartón como la lámina son especialmente vulnerables a los entornos ácidos y básicos (EPA, 2021).

3.4 RETENCIÓN DE AGUA

En este aspecto se midió la capacidad que tienen los materiales para obtener y conservar la humedad del espacio en el que se encuentra. Con una absorción de 34.79%, el cartón resalta, seguido por la madera (13.52%) y el triplay (8.35%). Pese a que el material de la lámina y el block presentaron cantidades mínimas respecto a la retención de humedad, el hecho de que no tengan mucha capacidad de captación permite el riesgo de que se forme una condensación en el interior de los espacios.

ESPECIAL



CienciAcierta

3.5 CUENTA BACTERIANA

El análisis microbiológico demuestra que la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFG/g) en tres materiales: plástico, madera y lámina, fue tan alta que no pudo ser medida con el método empleado. Esto indica que existe una elevada carga de bacterias, lo cual puede constituir un peligro para la salud (Gulis y otros, 2004).

3.6 LEVADURAS Y HONGOS

Igualmente, fue hallada una gran cantidad de hongos y levaduras, donde al triplay y al cartón se le determinaron cifras incontables y la lámina con al menos 40 UFG/g. Por lo tanto, se demuestra que hay condiciones que causan la propagación de hongos (OMS, 2023).

3.7 LIXIVIACIÓN

Durante el análisis de las muestras, se encontraron metales en concentraciones bajas, entre ellos níquel (Ni), zinc (Zn), plomo (Pb) y cadmio (Cd). Sin embargo, su presencia confirma que los metales tóxicos tienen el potencial de liberarse al entrar en contacto con el agua. Esto constituye un peligro para la salud, especialmente en situaciones donde las viviendas están expuestas a humedad continua (véase tabla 2).

Tabla 2. Metales identificados en la lixiviación de materiales.

Metal	Medio ácido (mg/L)	Medio básico (mg/L)	Límite de cuantificación reportado
Cadmio (Cd)	0.026	0.0002	<0.1 mg/L
Plomo (Pb)	0.058	0	<0.1 mg/L
Zinc (Zn)	0.098	0	<0.5 mg/L
Níquel (Ni)	0.074	0	<0.2 mg/L

IV. DISCUSIÓN

Los resultados de laboratorio revelan un patrón consistente: cuanto más humedad se retiene en materiales orgánicos (cartón y madera), mayor es la proliferación de microorganismos; los materiales inorgánicos (block y lamina)

ESPECIAL



CienciAcierta

absorben menos agua, aunque las láminas requieren atenuación térmica debido a su escasa capacidad de aislamiento. La prueba de lixiviación demuestra que la mezcla de materiales con agua tiene el potencial de liberar metales y propiciar la colonización por microorganismos, lo cual hace que sea prioritario gestionar las barreras superficiales y la humedad (Martínez-Villalba, 2020; Von Seidlein et al., 2021).

La investigación sobre la corrosión y el pH reveló que la mayor parte de los materiales analizados, en particular el cartón, la madera y la lámina, son muy reactivos ante ambientes básicos y ácidos. Estos datos indican que el contacto con contaminantes del aire, lluvia ácida o humedad ambiental podría estar acelerando su degradación. Estos procesos liberan partículas, vapores o residuos químicos que pueden ser nocivos (EPA, 2021).

Por otro lado, los resultados de las pruebas microbiológicas y la retención de humedad, que es especialmente elevada en el cartón (34.79%) y la madera (13.52%), muestran que se crean microambientes favorables para que crezcan levaduras, hongos y bacterias. Esto no solo afecta la longevidad de los materiales, sino que también supone riesgo directo para la salud, como han apuntado Jiménez y Silva (2023) en investigaciones previas sobre ambientes húmedos y pobreza energética.

En términos estructurales, los materiales analizados presentan baja resistencia y alta vulnerabilidad. Eso señala que no solo son inapropiados para una vivienda digna, sino que también generan ambientes que empeoran los efectos adversos de la contaminación urbana y climática. En particular, el plástico, la lámina y el triplay tienen la capacidad de alcanzar altas temperaturas en su superficie cuando están expuestos al sol; esto disminuye el confort térmico y genera estrés térmico dentro de las viviendas. Según Morales (2022), este es un factor relevante en climas cálidos, como los de Tampico y Altamira.

Asimismo, el descubrimiento de una gran cantidad de bacterias y hongos en la madera, el plástico y la lámina hacen un llamado a reflexionar sobre la importancia de mantener ventilación e higiene en las viviendas de la zona. Según la literatura, el contacto continuo con estos agentes puede causar enfermedades crónicas de asma, alergias y otros padecimientos respiratorios, especialmente en niños y personas de la tercera edad (Gulis et. al., 2004).

ESPECIAL



CienciAcierta

Este estudio aporta al conocimiento en dos niveles: primero, proporcionando evidencia empírica acerca de la composición y comportamiento de materiales desechados que no han sido analizados con suficiente profundidad en Latinoamérica; y segundo, estableciendo una relación directa entre el entorno construido, la materialidad y la salud desde un enfoque crítico y contextual.

Los hallazgos critican las políticas de viviendas actuales, que a menudo no incorporan tácticas de soporte técnico o control para la autoconstrucción. A la vez, proponen que se generen de manera urgente programas de intervención participativa e instrumentos normativos que incorporen criterios mínimos de salubridad ambiental pero que asimismo reconozcan los conocimientos locales. Los ensayos efectuados son de laboratorio y no están desglosados por colonia.

V. CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar los materiales de desecho comúnmente utilizados en viviendas precarias ubicadas en la sur de Tamaulipas y su efecto en la salud de los residentes. Se confirma que estos materiales no solo son inadecuados en términos estructurales, sino que además representan un riesgo significativo para la salud en contextos de alta vulnerabilidad, basándose en el análisis fisicoquímico y microbiológico de las tomas de muestra y el trabajo de cambio realizado.

Un descubrimiento significativo de la investigación es que los materiales que se evaluaron, entre ellos el cartón, la lámina y la madera reciclada, tienen condiciones adecuadas para acumular humedad, deteriorarse y propagar microorganismos. Estos elementos, junto con la falta de ventilación, la exposición extendida al calor y la carencia de controles sanitarios durante su implementación, crean un ambiente que atenta contra los derechos básicos de bienestar y habitabilidad.

Desde un punto de vista práctico, los resultados resaltan la necesidad urgente de reconsiderar los modelos de autoconstrucción en zonas marginadas. Aunque estos materiales tienen un costo accesible, utilizarlos sin supervisión técnica y sin examinar los riesgos pone en juego la salud de la población y mantiene una situación precaria tanto a nivel ambiental como estructural. Por lo tanto, es necesario definir estrategias de intervención que incorporen

ESPECIAL



CienciAcierta

opciones sostenibles, asesoría técnica y modelos participativos que honren el entorno local, pero sin sacrificar la dignidad habitacional y la seguridad.

En el plano teórico, este trabajo aporta una mirada integral sobre la relación entre materialidad y salud en contextos de vivienda informal. Propone una lectura crítica que va más allá del déficit cuantitativo de vivienda, y se enfoca en la calidad ambiental del espacio habitable como un componente esencial del derecho a la ciudad. Así, se invita al campo disciplinar a incorporar con mayor énfasis el enfoque de salud ambiental en los estudios sobre arquitectura, urbanismo y vivienda.

AGRADECIMIENTOS

A la Mtra. Ing. Sandra Luz Suastes Acosta del Instituto de Estudios Superiores de Tamaulipas, por ser una guía en el desarrollo de las actividades de la estancia académica necesaria para el proceso de este doctorado en Arquitectura y Urbanismo; así como a los integrantes del área del laboratorio químico del instituto mencionado. A mis asesores del comité de tesis por su apoyo.

REFERENCIAS

- Alonso, J., y Torres, M. (2021). Condiciones de habitabilidad en asentamientos informales. *Revista de Estudios Urbanos*, 15(2), 110–128.
- CONEVAL. (2020). Medición de la pobreza en México: Resultados 2020. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. <https://www.coneval.org.mx/>
- Creswell, J. W. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- EPA. (2021). Corrosion and Surface Contamination in Indoor Environments. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/>
- Gulis, G., Mulumba, J. A. A., Juma, O., y Kakosova, B. (2004). Health status of people of slums in Nairobi, Kenya. *Environmental Research*, 96(2), 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2004.01.016>

ESPECIAL



CienciAcierta

- Jiménez, A., & Silva, R. (2023). Pobreza energética y salud en viviendas precarias de zonas urbanas. *Revista Latinoamericana de Salud Ambiental*, 15(1), 44–59.
- López, C., y Vargas, H. (2019). Impacto del pH en materiales constructivos autoconstruidos. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 25(3), 67–78.
- Martínez-Villalba, A. (2020). Diseño arquitectónico centrado en la salud: una revisión crítica. *Revista Hábitat Sustentable*, 10(2), 56–65. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.05>
- Martínez, P., Gómez, R., y Duarte, M. (2020). Microambientes interiores y efectos en la salud infantil. *Revista de Medicina Urbana*, 8(4), 203–215.
- Morales, E. (2022). Comportamiento térmico de materiales en zonas cálidas. *Revista Mexicana de Arquitectura Bioclimática*, 6(1), 25–39.
- OMS. (2018). *Housing and Health Guidelines*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550376>
- OMS. (2023). *Indoor Air Quality and Dampness in Housing*. Organización Mundial de la Salud.
- Pérez, F., y Salas, J. (2020). Impacto de la calidad ambiental en viviendas precarias. *Salud y Territorio*, 14(2), 98–113.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1996). NOM-001-SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores.
- Von Seidlein, L., Alabaster, G., y Deen, J. (2021). Crowding has consequences: Prevention and management of COVID-19 in informal urban settlements. *BMJ Global Health*, 6(1), e004124. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2020-004124>
- WHO. (2023). *Chemical Exposures in Housing and Health Impacts*. World Health Organization.

VALORACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO A TRAVÉS DE LOS MEDIOS DIGITALES. EL CASO DE ADOLESCENTES EN DOS CIUDADES DE MÉXICO

*ASSESSMENT OF ARCHITECTURAL HERITAGE THROUGH DIGITAL
MEDIA: THE CASE OF ADOLESCENTS IN TWO MEXICO CITIES*

LÓPEZ CERVANTES, Clarisa¹

ROSALES MENDOZA, José Manuel²

RODRÍGUEZ ESPINOZA, Claudia³

RESUMEN

Esta investigación analiza cómo los adolescentes perciben y valoran el patrimonio arquitectónico en el contexto actual, influido por el uso de medios digitales. Con la premisa de que la tecnología constituye una herramienta clave para la difusión cultural, pero también un medio que transforma la manera en que las nuevas generaciones reconocen y se relacionan con su entorno patrimonial.

El objetivo general fue comprender y explicar el acceso y posibilidades que los adolescentes establecen con los medios digitales para el reconocimiento del patrimonio arquitectónico en dos ciudades mexicanas: Saltillo, Coahuila, y Morelia, Michoacán. Los objetivos específicos fueron: comparar las percepciones de los jóvenes entre ambas ciudades; identificar coincidencias y diferencias entre el patrimonio reconocido por ellos y el catalogado por instituciones oficiales; y analizar los procesos de construcción de valoración patrimonial entre los adolescentes.

Se aplicó una metodología de enfoque mixto: cuantitativo y cualitativo, con observaciones de campo y encuestas en línea dirigidas a estudiantes de secundaria de instituciones privadas. Se obtuvieron 115 respuestas válidas: 60 en Saltillo y 55 en Morelia. El estudio tuvo un nivel de confianza del 95% y un margen de error aproximado de $\pm 9.1\%$. La validación del instrumento fue teórica, sustentada en la coherencia conceptual entre las variables y dimensiones analizadas.

Los adolescentes mostraron interés en los medios digitales para difundir el patrimonio, siempre que sean atractivos y educativos. En Morelia prevalecen valores históricos y turísticos, mientras que en Saltillo predominan los

1. Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Coahuila, Arteaga, Coahuila, México.
2. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México.
3. Facultad de Arquitectura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

Correspondencia
clarisa.lopez@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-4954-3287>

emocionales y sociales. Como resultado la valoración del patrimonio entre adolescentes no se limita al conocimiento histórico o institucional, sino que integra componentes emocionales, sociales y tecnológicos que fortalecen la identidad cultural contemporánea.

Palabras clave: valoración patrimonial; patrimonio arquitectónico; patrimonio y medios digitales; patrimonio y adolescentes mexicanos.

ABSTRACT

This research analyzes how adolescents perceive and value architectural heritage in the current context, influenced by using digital media. It is based on the premise that technology constitutes a key tool for cultural dissemination, but also a medium that transforms the way new generations recognize and relate to their heritage environment.

The general objective was to understand and explain the access and possibilities that adolescents establish through digital media for the recognition of architectural heritage in two Mexican cities: Saltillo, Coahuila, and Morelia, Michoacán. The specific objectives were to compare young people's perceptions between both cities; identify similarities and differences between the heritage they recognize and that cataloged by official institutions; and analyze the processes of heritage value construction among adolescents.

A mixed-method approach was applied, combining quantitative and qualitative techniques, with field observations and online surveys directed at secondary school students from private institutions. A total of 115 valid responses were obtained: 60 from Saltillo and 55 from Morelia. The study had a 95% confidence level and an approximate margin of error of $\pm 9.1\%$. The validation of the instrument was theoretical, supported by the conceptual coherence between the analyzed variables and dimensions.

Adolescents showed interest in using digital media to promote heritage, provided that the content is engaging and educational. In Morelia, historical and touristic values prevail, while in Saltillo, emotional and social values dominate. As a result, the appreciation of heritage among adolescents is not limited to historical or institutional knowledge, but rather integrates emotional, social, and technological components that strengthen contemporary cultural identity.

Keywords: *heritage appreciation; architectural heritage; heritage and digital media; heritage and Mexican adolescents.*

INTRODUCCIÓN

CONTEXTO GENERAL DEL PROBLEMA

El objetivo principal de esta investigación es comprender el acceso que los adolescentes tienen con los medios digitales para reconocer su patrimonio edificado, de forma comparativa con dos ciudades mexicanas, se realizará una breve descripción de cada ciudad incluyendo fundación, actividad económica, y patrimonio arquitectónico.

SALTILLO, COAHUILA DE ZARAGOZA

Fundada como la villa de Santiago del Saltillo en 1577. El día en que se conmemora su aniversario es el 25 de julio, por el patrono de la ciudad Santiago Apóstol. Su economía está dominada por la industria manufacturera, especialmente la automotriz, así como la de maquinaria y equipo (Coahuila Gobierno del Estado, 2025). El Sistema de Información y Gestión Educativa (SIGED, 2025) señala en la estadística educativa que realizó en 2023-2024 que existen 152 escuelas secundarias en Saltillo, Coahuila, de las cuales 67 son colegios privados. Estudian 8,179 alumnos. El Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH, 2025) tiene catalogados 169 sitios como monumentos históricos y 140 bienes inmuebles con valor cultural que pertenecen al territorio de Saltillo, Coahuila.

MORELIA, MICHOACÁN DE OCAMPO

Fundada por el Virrey Don Antonio de Mendoza el 18 de mayo de 1541, en 1848 recibió el nombre de Morelia, en honor al héroe de Independencia de México, Don José María Morelos y Pavón quien nació en esa ciudad. Su economía se basa principalmente en el comercio, el turismo y la industria manufacturera, datos obtenidos de IMPLAN Morelia (2025).

El Sistema de Información y Gestión Educativa (SIGED, 2025) señala en la estadística educativa que realizó en 2023-2024 que existen 186 escuelas secundarias en Morelia, Michoacán, de las cuales 66 son colegios privados y

tienen 7,954 alumnos. El Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH, 2025) tiene catalogados 525 sitios considerados como Monumentos Históricos, 41 Conjuntos Arquitectónicos y 86 Bienes Inmuebles con Valor Cultural.

MARCO CONCEPTUAL

PATRIMONIO CULTURAL Y ARQUITECTÓNICO

La UNESCO (1972) explica que el patrimonio cultural es producto y a la vez un proceso que brinda a su respectiva sociedad recursos heredados del pasado, los cuales son apreciados y utilizados en el presente y transmitidos para la sociedad futura. Acerca del patrimonio arquitectónico Lleida (2010) explica que está conformado por aquellos edificios o conjuntos arquitectónicos que tienen valor histórico, cultural y simbólico los cuales representan a la sociedad.

VALOR DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

Para medir el valor de un objeto se retoma lo planteado por Jokilehto (2016) quien señala la necesidad de comparación con algo similar a ese objeto. Los valores están relacionados a la comunidad que otorga el valor y no al patrimonio en sí. Criado y Barreiro (2013) afirman que el patrimonio es reconocido como propio por medio de su valoración, la cual se encuentra en el aprecio que sienten por este bien patrimonial la sociedad.

Marina Waisman (1993) señala que existen dos posibilidades completamente opuestas en cuanto al patrimonio: uno donde es primordial el valor de cambio o consumo de los objetos patrimoniales, en este se encuentra el valor turístico o de espectáculo., y el otro es el valor de uso que incorpora no solo una visión utilitarista, sino que también incorpora una dimensión cultural vinculada al fortalecimiento de la identidad, la memoria y la representatividad.

Maggi (2016) clasifica los valores que permiten que una obra creada por el ser humano se convierta en Bien Patrimonial: 1. Valor histórico, se encuentra en los edificios o conjuntos arquitectónicos en donde han ocurrido sucesos importantes para la historia de la sociedad. 2. Valor cultural, lo tienen edificios que se distinguen por su diseño y construcción, además de evocar a una cultura. 3. Valor social, se refiere a bienes culturales que permiten el desarrollo de la sociedad en su habitar cotidiano.

PATRIMONIO, IDENTIDAD Y ADOLESCENCIA

Coulomb y Vega Rangel (2016) hace mención que el patrimonio urbano se produce a través de una construcción social en la cual están involucrados no solo los gobiernos, sino diversidad de actores sociales, con diferentes intereses e imaginarios. Es aquí donde se ven implicados los adolescentes en tanto actores sociales, parte de la comunidad y formadores de la identidad cultural.

Piaget (1972) consideraba que los adolescentes entraban a una etapa en donde su desarrollo cognitivo está en su más alto nivel, que es cuando forman la capacidad de pensamiento abstracto. Este desarrollo, ocurre aproximadamente a los 11 años y no se encuentran limitados al aquí y ahora. La búsqueda de identidad según Erikson (1950), se enfoca en la adolescencia, la cual es una concepción del yo formada por metas, valores y creencias.

Es interesante el análisis realizado por Velasco (2020), donde observó que los objetos que forman parte de la identidad cultural de los jóvenes tienen relación con el entretenimiento y diversión principalmente, y después los que tienen valor religioso e histórico. Los objetos que fueron reconocidos se basaron en su simbolismo y cómo se relacionan con la sociedad, ya sea de manera individual o colectiva, dando menor importancia a lo estético.

PATRIMONIO Y MEDIOS DIGITALES

Feltrero y Lazos (2016) indican que las tecnologías de información permiten difundir y apreciar contenido sobre patrimonio cultural, donde cada grupo social toma este conocimiento para sí mismos. Anastasio y Bustamante (2016) señalan que las nuevas tecnologías permiten brindar conocimiento sobre el patrimonio cultural sin que el usuario o visitante a un museo realice grandes esfuerzos, además no sustituyen al objeto patrimonial, sino que facilitan su acercamiento y una mejor comprensión de este.

Jiménez-Badillo (2016) explica que existe una organización llamada Redtdpc encargada de "Tecnologías Digitales para la Difusión del Patrimonio Cultural", esta organización investiga diversas condiciones que hacen factible que las tecnologías digitales ayuden en las instituciones culturales a difundir y divulgar el patrimonio cultural.

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Se busca como objetivo principal comprender y explicar el acceso y las posibilidades que brindan los jóvenes de secundaria a los medios digitales para el reconocimiento del patrimonio arquitectónico. Esto se realizaría en una comparativa entre dos ciudades mexicanas, Morelia, Michoacán y Saltillo, Coahuila, donde permita la investigación conocer las similitudes y diferencias existentes entre el uso que dan los jóvenes de secundaria a los medios digitales entre ambas ciudades.

Además de identificar coincidencias y diferencias que existen entre el patrimonio arquitectónico reconocido por los adolescentes y el patrimonio arquitectónico catalogado por instancias oficiales. Por último, entender como son los procesos de construcción de valoración sobre el patrimonio para los adolescentes de cada ciudad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 1. Operacionalización.

VARIABLES	INDICADORES	PREGUNTA
Patrimonio arquitectónico (valores)	Histórico	¿Opinas que existen suficientes edificios o lugares que hacen recordar sucesos importantes de la historia en tu ciudad?
	Cultural	¿Piensas que los edificios o lugares que hay actualmente representan a la cultura de la ciudad, como: costumbres, tradiciones, leyendas?
	Social	¿Crees que los edificios o lugares que existen son símbolo de tu ciudad?
	Económico	¿Los edificios o lugares que se encuentran en el centro histórico atraen a muchos turistas y permiten el comercio?
Medios digitales (condiciones que la hacen factible)	1. Análisis técnico de la tecnología elegida.	¿Por cuál medio digital conoces tu patrimonio arquitectónico?, Red social, Página web, YouTube, Buscador
	2. Descripción de sus beneficios para el sector cultural.	¿Qué sabes sobre tu patrimonio arquitectónico en base al medio digital donde lo observaste?
	3. Lineamientos para su aplicación al patrimonio cultural.	¿Por qué utilizaste este medio digital para conocer tu patrimonio arquitectónico?
	4. Escenario donde se aplica la tecnología.	¿Dónde usaste este medio digital para conocer tu patrimonio arquitectónico? Casa, escuela, museo, otro
	5. Enunciado claro de los beneficios, cambios y posibles inconvenientes para las instituciones que adopten esa tecnología.	¿Piensas que está bien utilizar los medios digitales para difundir el patrimonio arquitectónico? ¿Qué cambiarías?

La metodología para desarrollar tiene un enfoque mixto: cualitativo y cuantitativo, basada en observaciones de campo y encuestas aplicadas a estudiantes de nivel secundaria que asisten a instituciones escolares privadas en dos ciudades para efectos comparativos. El procesamiento de la información se realiza mediante bases de datos, con los que se obtendrán resultados estadísticos.

La encuesta fue elaborada con base en el marco conceptual de la investigación, tomando como referencia las dimensiones teóricas relacionadas con patrimonio cultural, medios digitales y construcción de identidad en la adolescencia. Su validez de contenido se estableció mediante revisión conceptual, asegurando que cada punto representara de forma coherente las variables de estudio (Hernández-Sampieri, Mendoza Torres, & Mendoza, 2006).

REALIZACIÓN DE INSTRUMENTO CONTESTADO

Se realizó la muestra en colegios privados de ambas ciudades, la encuesta se llevó a cabo a través de la plataforma de Google Forms, se contactó y se envió el enlace a diferentes colegios, los cuales aceptaron que sus alumnos contestaran anónimamente esta encuesta, a fin del objetivo de esta investigación, se encuestaron solo a los alumnos de secundaria, adolescentes entre las edades de 12 a 15 años, sin distinción entre los tres grados de estudio. De las encuestas realizadas por parte de la ciudad de Saltillo contestaron 60 jóvenes, y del lado de Morelia se obtuvieron 55 respuestas, obteniendo un total de 115 encuestas contestadas.

CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA

Para la determinación del tamaño de muestra se consideró la población total de alumnos de nivel secundaria inscritos en colegios privados de ambas ciudades, la cual asciende a 8,179 estudiantes en Saltillo y 7,954 en Morelia, con un universo total aproximado de 16,133 adolescentes (SIGED, 2025). El cálculo se realizó aplicando la fórmula estadística para estimar proporciones con corrección por población finita, bajo un nivel de confianza del 95% ($z = 1.96$) y una proporción esperada $p = 0.5$, que representa el escenario de máxima variabilidad (Daniel & Cross, 1991). Con base en estos parámetros, se determinó que el margen de error obtenido para la muestra total de 115 encuestas fue de aproximadamente $\pm 9.1\%$. Estos valores permiten clasificar la investigación como un estudio exploratorio descriptivo, con una precisión

estadística suficiente para comparar tendencias generales en la percepción y valoración del patrimonio arquitectónico a través de los medios digitales entre ambas ciudades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 2. Datos estadísticos obtenidos de encuestas realizadas a jóvenes de Saltillo y Morelia.

	Saltillo	Morelia
Escuela donde estudias	Ninguna en el centro histórico	Una en el centro, otra en las cercanías
Edad	75% - 14 a 15 años	73% - 13 a 14 años
Grado	57% Tercer año	55% Primer año
Valor histórico	42% "Sí"	51% "Sí"
Valor cultural	47% "Sí"	60% "Sí"
Valor simbólico / social	48% "Sí"	69% "Sí"
Valor económico	48% "Tal vez"	67% "Sí"
Medio digital	37% Red social	29% YouTube, red social
Lineamientos de uso	52% Conocer más de la ciudad	35% Conocer más de la ciudad
Beneficios de uso	47% Acerca de su historia y construcción	45% De su historia y construcción
Escenario	33% Escuela, 30% Casa	49% Casa, 31% Escuela
Medio digital para difundir	67% Sí, para que los demás conozcan	67% Sí, es la manera más fácil
Visita a museos	97% "Sí"	63% "Sí"
Museos	41% Museo del Desierto, 33% Museo del Desierto, Museo de las Aves, Museo de la Catrina	40% no ha visitado, 44% Museo Clavijero, Museo Alfredo Zalce, Museo de Historia Natural, Museo Casa Morelos
Había medios digitales	33% Juegos de pantalla, QR y videos	53% no recuerda
Edificios o lugares	53% Catedral, edificios del centro, Museo del Desierto	62% Catedral, Acueducto, Fuente de las Tarascas
Los conoce por	30% por familia, 27% por visitas	40% por visitas, 16% amigos y familiares

Los resultados de la investigación guardan una cercana relación con los planteamientos teóricos revisados anteriormente, al mismo tiempo muestran la diversidad de interpretaciones que los adolescentes construyen en torno al patrimonio arquitectónico y su vínculo con los medios digitales.

En lo referente al patrimonio cultural y arquitectónico, la UNESCO (1972) y Lleida (2010) lo conciben como una herencia material y simbólica que otorga identidad a la sociedad. Este principio se refleja en los adolescentes de Morelia, quienes identifican como patrimonio los edificios históricos y monumentos catalogados por el INAH, como la Catedral, el Acueducto y la Fuente de las Tarascas. En cambio, los jóvenes de Saltillo asocian el patrimonio con lugares cotidianos o recreativos, como el Museo del Desierto o el Estadio Francisco I. Madero, lo cual coincide con Jokilehto (2016) y

Coulomb y Vega Rangel (2016) los cuales mencionan que el valor patrimonial se produce por medio de una construcción o percepción social más que una clasificación institucional.

Respecto al valor del patrimonio, Maggi (2016) clasifica los valores patrimoniales en históricos, culturales y sociales. Marina Waisman (1993) señala dos valores del patrimonio: valor de cambio y valor de uso. En Morelia predomina el reconocimiento de los valores históricos y turísticos, mientras que en Saltillo se destacan los valores sociales y de uso. Esta diferenciación respalda lo propuesto por Criado y Barreiro (2013), quienes señalan que la valoración patrimonial se construye a partir del aprecio colectivo y no únicamente del carácter monumental de los bienes.

En relación con la identidad y la adolescencia, Piaget (1972) y Erikson (1950) sostienen que esta etapa es decisiva en la formación del pensamiento abstracto y la búsqueda del yo social. Los resultados confirman esta idea: los adolescentes de ambas ciudades establecen vínculos afectivos con los espacios urbanos a partir de sus experiencias personales, reafirmando lo planteado por Velasco (2020), quien identifica en los jóvenes una inclinación hacia valores simbólicos relacionados con el entretenimiento, la convivencia y las emociones. Así, el patrimonio se valora más como un espacio de significado personal que como un objeto histórico.

En cuanto al papel de los medios digitales, Feltrero y Lazos (2016) y Jiménez-Badillo (2016) señalan que la tecnología amplía las posibilidades de difusión y comprensión del patrimonio sin sustituir la experiencia directa. Los resultados apoyan esta perspectiva: más del 65% de los jóvenes consideran que los medios digitales son herramientas útiles para promover el patrimonio, aunque la mayoría prefiere conocerlo presencialmente. En Morelia, los estudiantes asocian las redes sociales con el conocimiento visual del patrimonio, mientras que en Saltillo los jóvenes perciben las herramientas digitales (videos, juegos interactivos o códigos QR) como recursos didácticos que facilitan la comprensión de su entorno cultural.

En conjunto, los resultados reafirman el marco teórico al mostrar que la valoración del patrimonio entre adolescentes no se limita al conocimiento histórico o institucional, sino que integra componentes emocionales, sociales y tecnológicos que fortalecen la identidad cultural contemporánea.

CONCLUSIONES

El objetivo general de esta investigación fue comprender y explicar el acceso y posibilidades que los adolescentes establecen con los medios digitales para el reconocimiento del patrimonio arquitectónico, tomando como casos comparativos las ciudades de Saltillo, Coahuila, y Morelia, Michoacán. Los resultados evidencian que los jóvenes muestran una actitud favorable hacia el uso de medios digitales (redes sociales y plataformas audiovisuales) como herramienta de difusión del patrimonio, siempre que el contenido sea dinámico, confiable y accesible. Sin embargo, los medios digitales son percibidos como un complemento para conocer el patrimonio, no como un sustituto de la experiencia presencial.

En relación con el primer objetivo específico, orientado a comparar las percepciones entre adolescentes de ambas ciudades, se observó que los jóvenes de Morelia vinculan su patrimonio con valores históricos y turísticos, mostrando un conocimiento más institucional del legado cultural. En contraste, los adolescentes de Saltillo asocian el patrimonio con espacios de convivencia y experiencias personales, otorgando importancia al valor social y emocional. Estas diferencias revelan cómo el contexto geográfico, urbano y económico influye en la construcción de la identidad patrimonial juvenil.

Respecto al segundo objetivo, que buscó identificar coincidencias y diferencias entre el patrimonio reconocido por los adolescentes y el catalogado por instancias oficiales, se comprobó una brecha. Los jóvenes de Saltillo valoran como patrimonio los edificios o espacios no catalogados por el INAH (como museos contemporáneos privados, el estadio de beisbol o el Mirador), mientras que los de Morelia reconocen sitios formalmente inscritos como monumentos históricos. Esto confirma que la valoración patrimonial es una construcción social que no siempre coincide con la clasificación institucional.

Finalmente, el tercer objetivo está enfocado en comprender los procesos de construcción de valoración patrimonial. En Morelia, la identidad se fortalece a través del conocimiento histórico y la óptica turística, mientras que en Saltillo surge desde la experiencia cotidiana y la interacción directa. En ambos casos, los medios digitales actúan como un recurso que estimula el interés por el patrimonio y fomenta el sentido de pertenencia, aunque su eficacia depende de su integración pedagógica y cultural.

REFERENCIAS

- Anastacio Cruz, M., & Bustamante Godínez, H. (2016). Ex convento de San Nicolás de Tolentino. Un recorrido virtual. En D. Jiménez-Badillo, & M. Gándara Vázquez, *El patrimonio cultural y las tecnologías digitales: experiencias recientes desde México* (págs. 258-269). D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia: CONACYT.
- Coahuila Gobierno del Estado. (17 de abril de 2025). Saltillo. Obtenido de https://coahuila.gob.mx/flash/conoce_coahuila/mapas/pdfs/saltillo.pdf
- Coulomb, R., & Vega Rangel, E. E. (2016). Los sujetos patrimoniales del centro histórico: de la valoración identitaria a la valorización mercantil. Una exploración inicial desde la Ciudad de México. En F. Carrión, & J. Erazo, *El derecho a la ciudad en América Latina: Visiones desde la política* (págs. 397-414). PUEC-UNAM: CLACSO.
- Criado-Boado, F., & Barreiro, D. (2013). El patrimonio era otra cosa. *Estudios Atacameños*(45), 5-18. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-10432013000100002>
- Daniel, W., & Cross, C. (1991). *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud* (sexta ed.). México D.F.: Limusa.
- Erikson, E. (1950). *The life cycle completed*. New York: Norton.
- Feltrero Oreja, R., & Lazos Ramírez, L. (2016). Proyecto Heliox. Modelo de apropiación social de las tecnologías digitales en contextos interculturales. En D. Jiménez-Badillo, & M. Gándara Vázquez, *El patrimonio cultural y las tecnologías digitales: experiencias recientes desde México* (págs. 356-369). D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia: CONACYT.
- Hernández-Sampieri, R., Mendoza Torres, C. F., & Mendoza, P. (2006). *Metodología de la investigación* (4 ed.). México D.F.: McGraw-Hill Education.
- IMPLAN Morelia. (17 de abril de 2025). Morelia Michoacán 2021. Obtenido de https://implanmorelia.org/site/wp-content/uploads/2021/12/PRESENTACION_C3%93N_PMD_29NOV21.pdf
- INAH. (17 de abril de 2025). Coordinación Nacional de Monumentos Históricos. Obtenido de Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles. Centro de Documentación: <https://catalogonacionalmhi.inah.gob.mx/consultaPublica#contadores>
- Jiménez-Badillo, D. (2016). La RedTDPC y la difusión del patrimonio cultural en el siglo XXI. En D. Jiménez-Badillo, & M. Gándara Vázquez, *El patrimonio cultural y las tecnologías digitales: experiencias recientes desde México* (págs. 42-59). D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia: CONACYT.
- Jokilehto, J. (julio de 2016). Valores patrimoniales y valoración. *Conversaciones* (2), 20-32. Obtenido de <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/conversaciones/issue/view/796>



- Lleida Alberch, M. (2010). El Patrimonio Arquitectónico, una Fuente para la Enseñanza de la Historia y las Ciencias Sociales. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 41-50.
- Maggi, D. (2016). Patrimonio Arquitectónico y Urbano. (U. N. Plata, Ed.) *Teorías Territoriales y Planificación Territorial* (10), 1-42.
- Piaget, J. (1972). Intellectual evolution from adolescence to adulthood. *Human Development*, 15, 1-12.
- SIGED. (12 de mayo de 2025). Sistema de Información y Gestión Educativa (SIGED) en la estadística educativa que realizó en 2023-2024. Obtenido de Sistema Educativo Nacional. Secretaría de Educación Pública: <https://siged.sep.gob.mx/SIGED/mapa1.html>
- UNESCO. (1972). Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural. Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, en su 17a reunión (pág. 16). París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Velasco Salinas, L. (2020). La valoración social del patrimonio cultural: Estudio de caso del Museo Regional de Guerrero. *Controversias y Concurrencias Latinoamericanas*, XII (21), 305-322.
- Waisman, M. (1993). *El Interior de la Historia. Historiografía Arquitectónica para uso de Latinoamericanos*. Bogotá, Colombia: ESCALA. Historia y Teoría Latinoamericana.

LA EVOLUCIÓN ARQUITECTÓNICA DE LAS COCINAS EN EL SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO DE LOS SIGLOS XX Y XXI

*THE ARCHITECTURAL EVOLUTION OF KITCHENS IN
SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, OF THE 20TH AND
21ST CENTURIES*

CONTRERAS TREVIÑO, Cristina
Guadalupe

DÁVILA DEL BOSQUE, Argelia Isabel

RESUMEN

En la dinámica de comprender el interior, en su riqueza y complejidad contemporánea, el presente artículo aborda los temas de "Diseño y Antropología" y el de "Los Interiores" como entradas conceptuales de donde se hace una revisión de literatura académica de antropólogos, etnólogos, sociólogos y arquitectos en su mayoría para encontrar un punto de interacción que permita el análisis y generación efectiva del espacio que, a su vez, buscará comprender con ayuda de estos conceptos, el devenir arquitectónico de la cocina en la ciudad de Saltillo, Coahuila México. Estos resultados serán expuestos a través del método de la deriva al mapear y analizar el estudio de caso de tres cocinas creadas en diferente temporalidad del siglo XX y XXI que reflejan la evolución de su espacio interior dadas las condiciones, necesidades, preferencias y valores culturales de las personas y su entorno en diferentes momentos de la historia.

Facultad de Arquitectura, Universidad
Autónoma de Coahuila, Arteaga,
Coahuila, México.

Palabras clave: espacio doméstico; identidad; patrimonio; producción social del espacio; percepción; deriva.

ABSTRACT

In the dynamics of understanding the interior, in its contemporary richness and complexity, this article addresses the topics of "Design and Anthropology" and "The Interiors" as conceptual inputs from which a review of academic literature is made by anthropologists, ethnologists, sociologists and architects mostly to

Correspondencia
cristina.contreras@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0008-0660-8726>

find a point of interaction that allows the analysis and effective generation of space that, in turn, will seek to understand with the help of these concepts, the architectural future of the kitchen in the city of Saltillo, Coahuila, Mexico. These results will be presented through the drift method by mapping and analyzing the case study of three kitchens created in different temporalities of the 20th and 21st centuries that reflect the evolution of their interior space, given the conditions, needs, preferences, and cultural values of people and their environment at different times in history.

Keywords: domestic space; identity; heritage; social production of space; perception, drift.

INTRODUCCIÓN

La alimentación representa una necesidad básica para el hombre, y para ello requiere un espacio funcional que concentre las tres zonas básicas para su funcionamiento que son lavar, almacenar y la preparación de los alimentos para su consumo.

El origen de la ciudad de Saltillo tiene un contexto histórico de mestizaje entre los nativos originales de la región, españoles y familias Tlaxcaltecas que dotaron de una morfología de casa habitación de manufactura de adobe que, en su mayoría, contaba con dos cocinas que convivían día a día en dinámica de alimentación de sus familias.

Durante los siglos coloniales y hasta principios del siglo XX contaban con una distribución interna que seguía el patrón del Modelo Europeo con patio central, un aljibe o fuente en el patio para guardar agua, con acceso y cuartos que se distribuían alrededor del patio, las alturas de piso a techo eran muy grandes y la localización de la cocina estaría orientada hacia el patio central al fondo de la vivienda.

Adicionalmente, Saltillo ha sido testigo de importantes contextos históricos como la influencia del Porfiriato, etapa de la historia que integra dinámicas y modas europeas propiamente "afrancesadas" en la vida cotidiana que impactan las cocinas de esa época, La Revolución Mexicana, o incluso las olas de impacto de la revolución industrial, que integran en sus sistemas de objetos una línea blanca de producción en serie como lo es la estufa. Así mismo, la

integración del servicio eléctrico permitió la llegada y uso de electrodomésticos que fácilmente fueron adoptados por las familias saltilenses.

El continuo cambio de la sociedad ha migrado a actividades económicas que demandan otras dinámicas familiares en espacio y tiempo que dejan de lado, en el caso de la cocina, antiguos usos, costumbres y su menaje doméstico tradicional.

El presente escrito es parte de una investigación doctoral de carácter histórico que tiene como objetivo abordar conceptualmente temas como Diseño y Antropología, así como los interiores, al utilizar la cocina como punto de contacto que permita el análisis y generación efectiva del espacio que, a su vez, buscará comprender con ayuda de estos conceptos y del estudio del devenir arquitectónico en el arco temporal propuesto, en la ciudad de Saltillo, Coahuila México. Estos resultados serán expuestos a través del método de la observación participante o deriva, que permite la lectura de los espacios urbanos, en este caso aplicado al espacio arquitectónico de tres cocinas creadas en diferente temporalidad y que, según Perinola (1972), va más allá del paseo o el deambular, lo cual es cualitativamente distinto porque permite identificar los efectos del espacio en el entorno. El análisis de estos tres ejemplos refleja la evolución del interior de la cocina doméstica dadas las condiciones, necesidades, preferencias y valores culturales de las personas y su entorno en diferentes momentos de la historia.

MATERIALES Y MÉTODOS

La acción de habitar, en términos arquitectónicos, requiere más que situarse dentro de un sitio en un periodo determinado de tiempo y para un fin particular. El habitar como acto de pertenencia y apropiación de un lugar implica, según Pallasmaa (2012), una noción amplia de la Arquitectura; la casa, como espacio primigenio y único que forma y forja la vida de cada individuo, revela según el autor, los orígenes ontológicos de la Arquitectura, que lo transforma de un lugar carente de sustancia, a un ambiente personal que además es propio, es decir, refleja la identidad de sus habitantes:

El acto de habitar es el medio fundamental en que uno se relaciona con el mundo. Es fundamentalmente un intercambio y una extensión; por un lado, el habitante se sitúa en el espacio y

el espacio se sitúa en la conciencia del habitante, y, por otro, ese lugar se convierte en una exteriorización y una extensión de su ser, tanto desde el punto de vista mental como físico. (Pallasmaa, 2012 p. 8).

Por lo tanto, los espacios que conforman una vivienda, en este caso en su sentido primigenio, como es la cocina, ésta se encuentra dotada de una dimensión profunda y de pertenencia al conectarse de forma intencional con la realidad doméstica y la vida cotidiana.

Además, al hacer uso de un espacio interior se ejercen fuerzas sobre él que lo modifican y lo controlan, es decir, al agregar objetos, colores, formas, incluso huellas que permanecen en la memoria espacial, como las circulaciones que se llevan a cabo de forma diaria, se realiza un acto de apropiación del lugar lo cual, es un testigo del paso del tiempo y por lo tanto objeto de análisis para la comprensión de su evolución y devenir histórico.

Las diferencias elementales entre la antropología y la etnografía han sido tratadas por varios investigadores como Igord (2015), quien parte de los objetivos específicos en cada uno en sus campos de acción, reconoce que se debe trabajar en colaboraciones, y es importante la educación antropológica, al señalar que, es a través de ella, que se logra una indagación profunda, abierta, comparativa y crítica sobre las condiciones de la vida humana que abren caminos de transformación, a diferencia de la etnografía que solo llega a documentarla. Por su parte, Miller (2017) analiza las diferencias al concluir que tienen objetivos distintos pues la etnografía describe la vida naturalmente como se vive en espacio y tiempos únicos, mientras que la antropología se interesa en la vida humana en el mundo en general, ambos conceptos tienen aportaciones en donde se complementan. Estas dos perspectivas permiten que el análisis del presente sea completo e integre dicha indagación profunda enfocada en el ser humano que provee la antropología y la manera de documentarla provista por la etnografía.

Cassandra Hartblay Joseph D. Hankins, y Melissa L. Caldwell (2018) hicieron en colaboración una publicación que tiene la intención de despertar crítico entre los conceptos de diseño y etnografía en los contextos contemporáneos en donde se presume que ya no son disciplinas separadas pues se necesitan mutuamente para la creación efectiva de espacios. Esta transdisciplinariedad se ve reflejada en su proyecto, donde se refiere a la integración de 17 ensayos sintetizados y que fueron resultado del foro *Theorizing the Contemporary Cultural Anthropology* desarrollada en la Universidad de California en el

2016, su trabajo de análisis clasifica dicho material en: “etnógrafos críticos del diseño”, “etnógrafos adaptando el diseño”, “reflexiones epistemológicas” y “etnografía como diseño para el cambio social”. (*Keywords for Ethnography and Design*, 2018).

La convergencia entre la etnografía y el diseño es un enfoque popular en el campo arquitectónico, en el cual también Wendy Gunn, Ton Otto, y Rachel en su libro *Design Anthropology: Theory and practice* (2013), hacen su investigación aplicada a la sociedad contemporánea y del cual Nancy Foster hace un análisis y reseña que marcan las siguientes ideas dominantes: diseño como sitio de producción cultural y de cambio, desarrollo de la antropometría del diseño, de la observación a la colaboración y co-creación, potencial crítico de la antropometría del diseño (Foster, 2018).

Sobre la misma línea de estudio, se encuentra el *Manifiesto para la etnografía de Retazos* de Gökçe Günel, Saiba Varma, y Chika Watanabe, que trata sobre la convergencia entre la etnografía y el diseño planteado desde los retos durante la pandemia de Covid-19, que originó una nueva forma de ver y adaptar el cómo enfrentar los retos por parte de investigadores en cualquier situación extrema para seguir el trabajo de estudios y, con ello, generar conocimiento (Gökçe, Varma y Watanabe. 2020).

Al integrar los conceptos anteriores al espacio interior, no se puede dejar de nombrar a Jean Baudrillard (1996), quien trata la teoría de la cultura y la crítica de la sociedad de consumo. Baudrillard ha realizado dos publicaciones de *El sistema de objetos*. La primera versión se remonta a 1968, tomando como base su tesis doctoral, la cual se enfoca en el consumismo y cómo los objetos interactúan a lo largo de la dinámica del día a día. (Baudrillard, 1968). En cambio, en la nueva versión de 1996, mantiene su enfoque en el estudio de la relación entre los objetos y la sociedad de consumo, propone una clasificación de ellos en cotidianos del nuevo orden técnico al generar las categorías funcionales como los que siguen una tarea específica, el autor denomina los No funcionales como antigüedades y de colección y los meta-funcionales para referirse a aquellos que son inútiles y en el presente escrito se referirá a su último tomo. (Baudrillard, 1996).

Al hablar de antropología y diseño se encuentra que, hay distintos enfoques para abordarlos, destacan tres tendencias importantes. La primera propuesta fue hecha por Lucy Suchman (2011), quien plantea una etnografía crítica del diseño. George Marcus (2013), por otro lado, sugiere el desarrollo de

etnografías de acuerdo con las diferentes prácticas del diseño. Sin embargo, Keith Murphy (2016) une los dos conceptos y declara que están estrictamente unidos con hacer y crear. Todo esto concluye en que la etnografía y el diseño son importantes para el cambio social según Hartblay, Cassandra, Joseph D. Hankins y Melissa L. Caldwell. (2018) en su publicación *Introduction: Keywords for Ethnography and Design*, 2018.

De la misma forma, Nancy Fried Foster (2018) aborda la unión de las dos disciplinas para generar una convergencia temática de la misma forma que Christine Miller lo había hecho en su libro *Design + Anthropology* (2017), al reforzar que la Etnografía y la Antropología tienen contribuciones mutuas, y señala la emergencia de la antropología del diseño generándose un nuevo campo transdisciplinario que fusiona las dos disciplinas.

Si se habla del diseño en el futuro, importante es conocer la propuesta de Rachel Charlotte Smith (2016), quien en su libro *Design Anthropological*, enfoca la antropología del diseño y su relación con la creación de futuros alternativos a través de la especulación intervencionista y la interacción con objetos, a los que considera parte importante para la construcción del futuro, expresado con mayor detalle en Baudrillard (1996), en su libro *El sistema de objetos* explicado en líneas anteriores.

El presente artículo se desarrolló al partir de una investigación histórica de carácter cualitativo y documental con observaciones directas de caso de estudio específico y se aplicó la teoría de la deriva desarrollada por Guy Debord (1958), dentro de la teoría del movimiento del situacionismo que parte de la idea de recorrer un espacio sin objetivo real, solo dejándose llevar por los estímulos del entorno. Fuentes (2025), expone esto como una forma de observación arquitectónica que brinda un conocimiento del objeto de estudio, en este caso la cocina, y por consiguiente el entender a sus usuarios y sus manifestaciones en ella. Para ello se realizó un recorrido y se desarrolló el estudio de caso según Robert K. Yin que lo define como “una investigación empírica que investiga un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto real...” (Yin, 2003) al interior de tres cocinas de zona urbana elegidas por concentrar las características más representativas (materiales de construcción, sistema de objetos, así como su distribución y triángulo de trabajo) en tres diferentes temporalidades que reflejan prácticas, valores y transformaciones espaciales claras la primera en 1916, la segunda en 1976 y la tercera en 2023, al realizar una observación psico geográfica que permitiera un registro

de lo observado en el espacio interior de dichas cocinas seleccionadas para el estudio y de las cuales se genera una narrativa y un collage fotográfico.

Posteriormente, se realizó la comparativa en los resultados de la muestra de tres cocinas respecto a los materiales de construcción, sistema de objetos, mecanización y tecnología, morfología y distribución del espacio y los roles y actividades.

RESULTADOS

La evolución arquitectónica de las cocinas en México, y particularmente en el noreste de Coahuila, ha sufrido cambios que han permitido reinventar y optimizar las técnicas, recetas y el consumo de alimentos de acuerdo con su propia dinámica familiar y social, la cual busca adaptarse a la complejidad contemporánea, reinventando de esta manera sus espacios e interiores.

Se aborda la técnica experimental de la deriva en el espacio interior de tres cocinas de Saltillo construidas en diferentes momentos de la historia del siglo XX a la fecha, de las cuales se presenta un collage fotográfico de cada una de ellas que es complementado con la presente narrativa que permita caracterizar y entender de acuerdo con su temporalidad, materiales de construcción, sistema de objetos, así como su distribución y Triángulo de trabajo. (Ruizverde, 2023).

Retomando los conceptos de antropología apliado al análisis de los roles familiares y dinámicas en la cocina, así como en el terrenol de la etnografía, con la observación directa de las prácticas desarrolladas en ese espacio, se encuentra que la cocina tiene tres zonas de ejercicio básicas: almacenamiento, lavado y cocción. Asimismo, la relación de recorridos entre ellas al preparar los alimentos da como resultado un triángulo de trabajo que busca ser perfecto al eliminar desperdicio de movimientos. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 1, que busca explicar el concepto a manera de esquema.

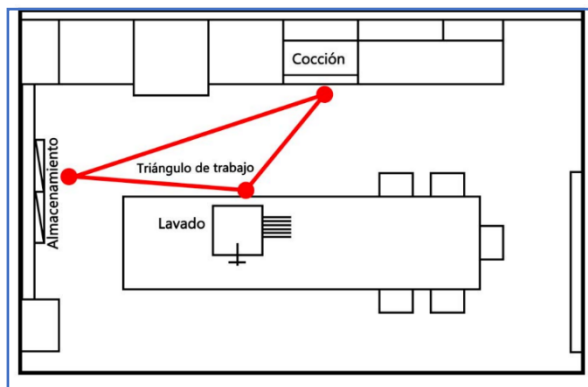


Figura 1: Triángulo de trabajo de la cocina. Fuente: <https://ruizverde.com/wp-content/uploads/2023/07/traduccion-triangulo-de-trabajo.jpg>

a) ANÁLISIS DEL OBJETO DE ESTUDIO

Cocina 1: Al observar la Figura 2 que pertenece a una casa construida en 1916 en el 1er cuadro de la ciudad en la calle de Juárez, si bien, no se encuentra actualmente en su condición original, mantiene muchos de los elementos característicos de su época. Al ser un apéndice de la casa que se encuentra al fondo de la construcción de adobe de techos altos de madera, al fondo sus cinco fogones de leña cubiertos con una campana que pretende extraer los vapores hacia el exterior por el techo, lo cual no ha sido eficiente dado que las paredes reflejan un espacio lleno de humo, grasa y calor.



Figura 2. Collage Cocina1 de 1916.

Resalta a la vista el sistema de elementos utilizados para cocinar, una parte colgados a la pared, y otros en repisas y estantería de piso a techo hechas de madera que muestran gran cantidad de ollas metálicas y de barro, platos e instrumentos como molinos, tablas, molcajetes y metates. Al centro en lo alto el garabato metálico rodeado de esas vasijas y ganchos para alzar comida.

El acceso al agua en el lavadero se encuentra en un patio trasero con una puerta directa a la cocina y el área de almacenamiento se encuentra también independiente en otro cuarto previo a la cocina que cuenta con alacenas empotradas en la pared.



Figura 3. Collage Cocina1 de 1976.

Cocina 2. Vinculada a la Figura 3, construida también en el centro de Saltillo en la calle de Centenario construida en 1976, está hecha de ladrillo cocido de arcilla, y tiene una distribución en cocina paralela (Figura 2). La barra esta forrada de azulejo, cuenta con una estufa de seis quemadores y horno independiente de gas, la alacena se encuentra empotrada en la pared está cerrada con puertas de madera que no permiten ver el acomodo de alimentos y sistema de objetos utilizados y esta frente a la zona de cocción y lavadero el cual tiene toma de agua caliente y fría se prolonga la barra donde se aprecian electrodo-

mésticos como freidora, licuadora y horno de microondas, y de la misma forma también esta empotrado el refrigerador. Al inicio cuenta con un desayunador de mesa redonda con seis posiciones y al fondo conecta a través de una puerta de madera al comedor.

Cocina 3. Relacionada a la Figura 4, se encuentra en un departamento de construcción de concreto edificado en el 2023, y se limita a un breve espacio de distribución de cocina recta (Figura 3) con acomodo de refrigerador, y un módulo de madera que tiene una tarja con toma de agua caliente y fría, al lado de una parrilla de inducción de alimentación eléctrica, que en la parte superior cuenta con una alacena, y un microondas en una repisa de pared.

Figura 4. Collage Cocina1 de 2023.



b) COMPARATIVA DE ESTUDIO

Al hacer la comparativa en esta muestra de tres cocinas se encuentra que, los materiales de construcción son diferentes; entre ellos se identifican adobe, ladrillo cocido de arcilla y concreto.

Asimismo, se muestra un contraste claro en el sistema de objetos, donde la primera cocina es abundante, variada y excesiva para sus usuarios en donde, de acuerdo a la temporalidad, era la mujer quien tenía el rol y por tanto la responsabilidad, dominio del área y su contenido, destaca lo artesanal, lo manual con materiales metálicos, madera y/o piedra, en cambio en la cocina 2 se observa que existe presencia de otro tipo de tecnología como es el microondas, refrigerador y licuadora, y la cocina 3 se limita a lo más básico al sugerir que ahí se cocina con baja frecuencia.

Por otro lado, el área de distribución es totalmente diferente en los tres casos. Mientras la primera cocina abarcaba tres espacios como lo es propiamente la cocina, así como el almacén y lavabos en el patio central, la segunda cocina tiene un aprovechamiento efectivo en la distribución al ser paralela. Por último, el tercer objeto de estudio cumple lo mínimo necesario para estar en funcionamiento.

En otro sentido, el triángulo de trabajo en la cocina 1 se considera ineficiente, pues se recorren grandes distancias para tener acceso al agua y para abastecer los ingredientes que se utilizan para este fin y los utensilios necesarios. Sin embargo, es efectivo en los siguientes dos casos, que cuentan con un diseño formal de cocina integral.

Por último, los usuarios de los espacios que se presentan, se pueden deducir que tienen actividades y responsabilidades diferentes para operar. En la cocina uno, solo quien tenga conocimiento de la manipulación de los objetos

mecánicos y manuales puede preparar alimentos, además del manejo del fuego, actividad destinada para las mujeres de la época, mientras que en la cocina 3, cualquier persona puede tener acceso a ella.

DISCUSIÓN

Es claro cómo la evolución social lleva a buscar nuevos espacios de interacción en donde el diseño está centrado en el ser humano y, para entenderlo, interactúan los resultados de la antropología y con ella la etnografía. La idea del espacio doméstico, en particular en el que se lleva a cabo la preparación de los alimentos, tal vez no sea una noción arquitectónica per se sino más bien, como se ha presentado en este estudio; de la antropología, el diseño y la etnografía, entre otras disciplinas relacionadas con actividades humanas, una ontología de la cocina representada en el hogar que se encuentra al interior de una vivienda lo convierte en un espacio personal y profundamente individual, el lugar íntimo y la relación con los objetos implicados en la cocina es sustancial y, quien lo dota de sustancia es el usuario, al colmarlo de identidad y sentido de pertenencia.

Al utilizar el método de la deriva para el análisis del espacio de tres cocinas que fueron construidas con más de cuatro décadas de diferencia en los años 1916, 1976 y 2023, permitió una observación psico geográfica que reveló patrones significativos en la evolución del espacio de cocina y su interacción con las dinámicas sociales y en donde podemos apreciar los siguientes hallazgos:

Se observa el cambio de materiales de construcción en donde aparece el adobe, el ladrillo y el concreto, así como también se aprecia en cada caso, diferentes fuentes de calor al tener leña, gas y electricidad por inducción dando lugar a indicadores claros de evolución de la sociedad que adopta nuevos materiales, el avance de tecnologías en el diseño de su espacio doméstico y en donde además, la presente investigación demuestra la convergencia entre la etnografía y el diseño al constatar que, en el devenir de la cocina de Saltillo se refleja una producción cultural y de cambio, que integra diferente antropometría del diseño en cada uno de los tres objetos de estudio tal y como lo señalan los autores Wendy Gunn, Ton Otto, y Rachel. (2013)

En el tema de sistema de objetos se logra vincular la clasificación de Jean Baudrillard (1996), en donde las categorías funcionales se visualizan con gran contraste en lo abundante, manual y el acomodo del menaje de la cocina de 1916, estos elementos con el paso del tiempo se convierten en los No funcionales transformándose en antigüedades y objetos de colección, lo cual da paso a la introducción de nuevos materiales y tecnologías que den mayor utilidad en las siguientes dos cocinas. Además, los meta-funcionales que hacen referencia a aquellos objetos inútiles u ornamentales que aparecen en mayor grado en la cocina de 1976 y son prácticamente eliminados para la cocina más moderna del 2023.

El espacio es un reflejo de las necesidades que requieren los habitantes para estar y ser en interacción con todos los sistemas de elementos que lo rodean. Si bien, el primer caso de estudio tenía un rol de uso especializado y entendido solo por el contexto femenino, se mostró que estos espacios fueron adaptándose para satisfacer y facilitar a todos los miembros de la familia su día a día, toda esta red de interacciones construye usos y costumbres que conforman el tejido de valor cultural de cada sociedad.

CONCLUSIONES

El presente estudio cubrió el objetivo de analizar en la evolución del espacio arquitectónico de la cocina en la ciudad de Saltillo y se aprecia en la temporalidad de tres estudios de caso de realidades sociales muy diferentes, que van desde la tecnología en los materiales de construcción que ahora es concreto en contraste con el adobe utilizado hace más de 107 años en el primer caso presentado. Se observan tres fuentes diferentes de calor para cocinar: se inicia con leña, después con gas natural, para finalizar con energía eléctrica por inducción. La tecnología en los sistemas de elementos que se presenta en el primer caso con gran cantidad de artículos propiamente artesanales fabricados con materiales como el barro, la madera o la piedra, mezclados con metales, es desplazada con electrodomésticos como la licuadora, hornos de microondas y el propio refrigerador. La morfología y distribución del espacio de cocina es significativamente diferente en cada uno al verse una múltiple y amplia zona destinada a la cocina en el primer caso de 1916, posteriormente se observa un cambio al mostrar un diseño más optimizado en cocina paralela en el 1976 hasta llegar a la cocina recta



minimalista en 2023, donde puede observarse que el triángulo de trabajo es mejorado significativamente.

Además, es posible identificar que, con el paso del tiempo, la cocina doméstica se simplifica en cuanto a materialidad, optimización de espacios e instrumentos para realizar las actividades propias. En las imágenes, se observa también que existe una tendencia significativa a implementar zonas de almacenaje tanto para enceres domésticos que, al mismo tiempo que la cocina, muestran una evolución y cambio que deriva en la desaparición de algunos de ellos, convirtiéndose en no funcionales tal como los denomina Baudrillard.

En este sentido, cabe recalcar que, en el devenir histórico de los espacios arquitectónicos domésticos, como son los que se estudian en este documento, se muestra una clara tendencia a la desaparición de actividades tradicionales propias de cada época y, por lo tanto, la desaparición de objetos que son sustituidos gracias al avance tecnológico. Desde esta perspectiva, vale la pena traer nuevamente el pensamiento de Pallasmaa (2012 p. 9-10), cuando afirma que: “la modernidad ha acometido de manera prioritaria el espacio y la forma, mientras que ha despreciado el tiempo como cualidad indispensable de nuestras viviendas”, es decir, el espacio sustancial es mucho más que un objeto que se llena, es un abanico de identidades propias de cada uno de estos lugares en un continuum de tiempo, la importancia de este documento radica en su puesta en valor, la visibilización del devenir histórico con respecto al objeto de estudio y para re conocer su evolución.

El cambio es una constante en el mundo actual que vive esta evolución en todos los sentidos, el presente artículo muestra el cómo este espacio doméstico es un reflejo tangible y dinámico de la producción social del espacio, además, brinda la oportunidad de reflexión sobre los efectos que tiene la complejidad contemporánea en el área más sensible de la casa que es la cocina.

REFERENCIAS

Anthropology Contra Ethnography | HAU: Journal of Ethnographic Theory: Vol 7, No 1, 2015)

Anthropology contra ethnography | HAU: Journal of Ethnographic Theory: Vol 7, No 1. (2015).
HAU: Journal of Ethnographic Theory. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.14318/hau7.1.005>



- Baudrillard, J. (1996). The System of Objects. https://monoskop.org/images/2/28/Baudrillard_Jean_The_system_of_objects_1996.pdf
- Fuentes, C. (2025). Teoría de la deriva. La deriva como forma de observación arquitectónica - Casiopea... Pucv.cl. https://wiki.ead.pucv.cl/Daniela_Fuentes_Caro_-_Teor%C3%A9tica_Da_de_la_deriva.La_deriva_como_forma_de_observaci%C3%B3n_arquitect%C3%B3nica
- Debord, G. (2025). Teoría de la deriva. Retrieved June 7, 2025, from <https://c.entricto.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/11/teoria-de-la-deriva-guy-debord.pdf>
- Gökçe G, Varma S y Watanabe C. (2020). "Un Manifiesto para la Etnografía Patchwork". Voces de Miembros, Fieldsights, 9 de junio. <https://www.culanth.org/fieldsights/a-manifesto-for-patchwork-ethnography> Foster, N. (2018, June 29). Foster Preprint Review of Design Anthropology. Rochester.edu. <https://urresearch.rochester.edu/institutionalPublicationPublicView.action?institutionalItemId=33544&versionNumber=1>
- Moliner, M. (2024) IMPERCEPTIBLEMENTE | Diccionario de. El Libro Total - La Biblioteca Digital de América. <https://www.ellibrototal.com/ltotal/?t=16&d=710859>
- Hartblay C, Hankins J. y Caldwell M. (2018) Keywords for Ethnography and Design. (2018, March 29). Society for Cultural Anthropology. <https://culanth.org/fieldsights/introduction-keywords-for-ethnography-and-design>
- Miller, C. (2017). Design + Anthropology. In Routledge eBooks. Informa. <https://doi.org/10.4324/9781315101903>
- Stewart, K. (2019). Ordinary Affects. Duke University Press - Ordinary Affects. Dukeupress.edu. <https://www.dukeupress.edu/ordinary-affects>
- Pallasmaa, J. (2016). Habitar. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.
- Perinola, M. (1972). Los situacionistas. Madrid: Ediciones Acuarela & A. Machado.
- Pink, S. (2009). Doing Sensory Ethnography. In the Library Union Catalog of Bavaria, Berlin, and Brandenburg (B3Kat Repository). University of Illinois Urbana-Champaign. <https://doi.org/10.4135/9781446249383>
- Ruizverde, W. (2023). El triángulo de trabajo en la cocina: ¿Qué es? Ruiz Verde Cocinas. (2023, July 17) <https://ruizverde.com/el-triangulo-de-trabajo-en-la-cocina-que-es/>
- Yin, 2003. Case Study Research: Design and Methods



MOVILIDAD COTIDIANA DE ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS

EXPERIENCIAS DEL HABITAR HUMANO EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA LAGUNA, MÉXICO

ESPECIAL
SEGUNDO COLOQUIO DEL DAU
AVANCE DE TESIS DOCTORAL

*EVERY DAY MOBILITY OF UNIVERSITY STUDENTS.
URBAN DWELLING EXPERIENCES IN THE METROPOLITAN AREA
OF LA LAGUNA, MÉXICO*

HERNÁNDEZ MORENO, José Miguel¹

GONZÁLEZ PÉREZ, Mario
Guadalupe²

SOTO CANALES, Karina³

RESUMEN

Este artículo explora las experiencias del habitar de estudiantes universitarios en la Ciudad Universitaria de la Universidad Autónoma de Coahuila Unidad Laguna, a partir de sus prácticas de movilidad cotidiana. Con un enfoque cualitativo etnográfico, se realizaron entrevistas narrativas a cinco estudiantes que residen en zonas periféricas de Torreón y enfrentan trayectos largos y fragmentados para asistir a sus actividades académicas. El análisis se estructuró en torno a cuatro dimensiones: apropiación del espacio urbano, cambios en las prácticas de habitar posconfinamiento, percepción de accesibilidad y ritmicidad y percepción del tiempo. Los resultados revelan un habitar fragmentado, condicionado por barreras estructurales, emocionales y temporales. Las narrativas muestran procesos de resignación, adaptación y apropiación simbólica del espacio, así como percepciones desiguales de la accesibilidad urbana. La investigación aporta una mirada situada sobre la movilidad como práctica social productora de significados, se destaca cómo las condiciones urbanas post-pandémicas reproducen formas de exclusión espacial.

Palabras clave: movilidad cotidiana; habitar; etnografía.

ABSTRACT

This article explores the experiences of dwelling among university students at the Ciudad Universitaria of the Universidad Autónoma de Coahuila Unidad

Correspondencia
josehernandezmoreno@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-4009-0269>

Laguna, based on their everyday mobility practices. Using a qualitative ethnographic approach, narrative interviews were conducted with five students who live in peripheral areas of Torreón and face long and fragmented journeys to attend their academic activities. The analysis was structured around four dimensions: appropriation of urban space, changes in post-confinement dwelling practices, perception of accessibility, and rhythmicity and perception of time. The results reveal a fragmented dwelling, conditioned by structural, emotional, and temporal barriers. The narratives show processes of resignation, adaptation, and symbolic appropriation of space, as well as unequal perception of urban accessibility. The research provides a situated perspective on mobility as a social practice that produces meaning, it highlights how post-pandemic urban conditions reproduce forms of spatial exclusion.

Keywords: everyday mobility; dwelling; ethnography.

I. INTRODUCCIÓN

La movilidad cotidiana, entendida como la suma de los desplazamientos individuales en un tiempo y espacio determinado (Miralles-Guasch, 2002), constituye un componente estructural del habitar urbano. Desde el nuevo paradigma de la movilidad, ésta se concibe como una práctica social que reproduce estructuras y significados en la ciudad (Cresswell, 2006; Sheller y Urry, 2006).

Durante el confinamiento por COVID-19, las desigualdades asociadas a la infraestructura de transporte se acentuaron (Cuadros y col., 2023). En el periodo posterior, lejos de mitigarse, estas barreras persistieron y se transformaron, con afectaciones a la población en general, y de forma particular a los estudiantes universitarios.

Este grupo, aunque comparte un perfil sociodemográfico específico, experimenta formas diferenciadas de desplazamiento, tanto al interior del estudiantado como en comparación con otros sectores de la población (Nash y Mitra, 2019; Shannon y col., 2006; Zhan y col., 2016). En este contexto, la movilidad influye directamente en el acceso a las oportunidades urbanas y en los procesos de apropiación del espacio (Lindón, 2006; Low, 2010).

Estas experiencias pueden analizarse desde el enfoque del habitar, entendido como el vínculo material y simbólico entre las personas y los espacios que transitan o habitan cotidianamente (Heidegger, 1975), y enriquecido por la noción de ritmicidad (Lefebvre, 2004), que permite capturar la dimensión temporal y sensorial de los trayectos.

Soto-Canales (2020) subraya que la movilidad no es solo un fenómeno físico o técnico, sino también una experiencia social y simbólica, donde los usuarios del transporte revelan desigualdades estructurales y necesidades de políticas públicas que garanticen el derecho a la movilidad de forma justa, segura e incluyente. De forma complementaria, Valdebenito y col. (2024) evidencian que los desplazamientos estudiantiles, especialmente en contextos periféricos, están cargados de significados que trascienden lo académico.

Aunque estos aportes han ampliado la comprensión del fenómeno, es necesario profundizar cómo estas prácticas se reconfiguran tras contextos de crisis. Explorar la complejidad de los trayectos cotidianos, donde convergen barreras materiales, afectivas y rítmicas, permite visibilizar cómo estas experiencias condicionan el acceso equitativo a la ciudad y el ejercicio pleno del habitar.

El objetivo de esta investigación es comprender la configuración del habitar de estudiantes universitarios en la Zona Metropolitana de La Laguna (ZML) a partir de sus experiencias cotidianas de movilidad, apropiación del espacio, percepción de accesibilidad y ritmicidad. Desde un enfoque cualitativo-etnográfico, se visibilizan las barreras estructurales, emocionales y temporales que enfrentan en sus desplazamientos diarios.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio adopta un enfoque cualitativo de tipo etnográfico con una perspectiva interpretativa de la realidad. Esta metodología permite comprender el habitar como una experiencia situada, construida a partir de los vínculos materiales y simbólicos que las personas establecen con los espacios que transitan cotidianamente. La etnografía permite captar estos significados, emociones y ritmos que configuran el habitar urbano.

Emerson y col. (2011) destacan el valor de los relatos para comprender significados y estructuras sociales desde la perspectiva de quienes los viven. En el ámbito de la movilidad, Jirón e Imlán (2016) subrayan la utilidad de este enfoque para explorar las dimensiones simbólicas de los trayectos. Asimismo, Soto-Canales (2020; 2023) ha evidenciado que las metodologías cualitativas, como las historias de vida y la codificación sustantiva permiten visibilizar sentidos e imaginarios asociados a la movilidad urbana, especialmente en contextos de desigualdad territorial.

El análisis se organizó en torno a cuatro dimensiones derivadas del marco conceptual, que permiten entender la movilidad como práctica productora de significados, identidades y vínculos urbanos: 1) Apropiación del espacio urbano, 2) Cambios en las prácticas de habitar posconfinamiento, 3) Percepción de accesibilidad urbana y 4) Ritmicidad y percepción del tiempo en el habitar.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO: ZONA METROPOLITANA DE LA LAGUNA Y CIUDAD UNIVERSITARIA (CU)

La ZML conformada por los municipios de Coahuila y Durango (Figura 1), presenta una morfología urbana dispersa, resultado de la expansión vinculada a la especulación inmobiliaria (Carmona O'Reilly, 2016). Esta dinámica ha dado lugar a una ciudad dispersa y fragmentada (Figura 2), cuya configuración territorial ha generado trayectos largos y una infraestructura de movilidad limitada, especialmente para quienes residen en zonas periféricas.

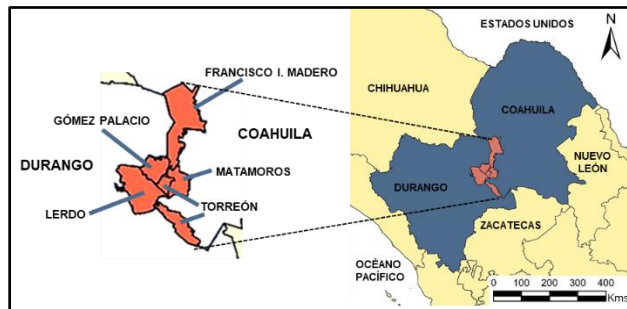


Figura 1. Localización de la zona metropolitana de La Laguna. Adaptado de (Secunza Schott, 2016).
Uso académico sin fines de lucro.

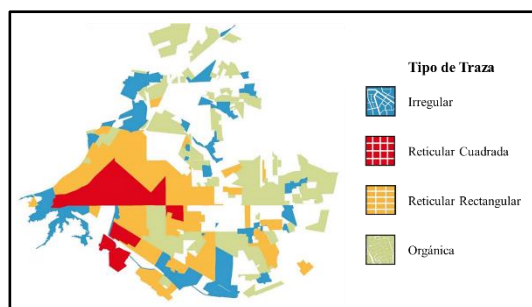


Figura 11. Tipo de traza geométrica en Torreón. Adaptado de (Secunza Schott, 2016). Uso académico sin fines de lucro.

En este contexto, la CU se ubica al oriente de Torreón, municipio de la ZML, y constituye un nodo educativo regional, con nueve escuelas y facultades que atienden a 3,998 estudiantes (Servicio Estadístico, Estado de Coahuila, 2023), provenientes de áreas urbanas, periféricas y rurales.

Aunque la mayoría reside en la mancha urbana de Torreón, alrededor del 8% proviene de municipios aledaños como Francisco I. Madero, Viesca y San Pedro, así como de comunidades ejidales periféricas (Hernández-Moreno et al., 2025) (Figura 3). Este grupo es de especial interés para la investigación, ya que su dispersión residencial implica una longitud de trayecto largo y complejo debido a que las rutas de transporte deben realizar múltiples paradas en comunidades ejidales intermedias y requieren uno o varios transbordos, lo que genera condiciones que refuerzan la exclusión territorial. La CU se configura como un caso relevante para analizar las tensiones entre la centralidad institucional y la marginalidad espacial en la experiencia del habitar.

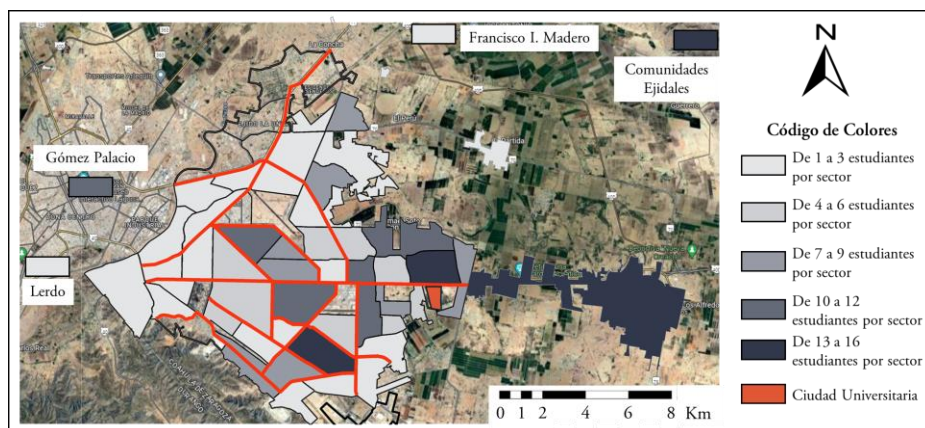


Figura 3. Distribución de residencia de los estudiantes de CU. Hernández-Moreno y col. (2025). Uso académico sin fines de lucro.

2.2 SELECCIÓN DE PARTICIPANTES

La selección se determinó sistemática y estratégicamente, se entrevistó a cinco estudiantes residentes en zonas periféricas de la metrópoli, cuyos desplazamientos destacan por una longitud de trayecto larga, aproximadamente 90 km diarios. La elección se basó en la diversidad de experiencias y riqueza narrativa (Denzin y Lincoln, 2017; Trundle y col., 2024).

Los participantes (María Flores, Palacios, Jesús, José y Ricardo) accedieron voluntariamente. Para preservar su anonimato, se omitieron sus nombres reales y escuelas específicas.

2.3 ANÁLISIS CUALITATIVO: CODIFICACIÓN ABIERTA, AXIAL Y SELECTIVA

El análisis siguió la metodología del modelo condicional de Corbin y Strauss (2015) mediante un proceso de codificación abierta, axial y selectiva. En la codificación abierta se identificaron fragmentos significativos y se agruparon por ejes temáticos (Tabla 1).

Tabla 1. Extracto de la codificación abierta de la entrevista de María.

Fragmento	Código asignado	Eje temático
Salgo de mi casa a las 7.20... Llego a Matamoros a las 7.40 y de ahí tomo otro camión para llegar a la universidad.	Trayecto intermunicipal escalonado	Ritmicidad y percepción del tiempo
Pasa uno a las 6, después pasa uno a las 7.40, y mi clase empieza a las 8, entonces no alcanzo a llegar.	Desfase entre horarios de transporte y actividades	Accesibilidad estructural
Cuando hay algo que hacer para la ciudad, mejor lo dejamos para el fin de semana.	Limitación temporal de movilidad urbana	Percepción de accesibilidad urbana
Prefiero quedarme más tiempo en la escuela para trabajar, porque está algo retirado.	Reorganización del tiempo por lejanía	Ritmicidad y percepción del tiempo

La codificación axial permitió establecer relaciones entre categorías. A partir del modelo condicional, los códigos se agruparon en seis componentes analíticos (ver Tabla 2).

Tabla 2. Esquema del modelo condicional para la codificación axial.

Componente	Pregunta que responde
Condiciones Causales	¿Qué factores estructuran o generan la situación?
Fenómeno Central	¿Cuál es la experiencia o proceso que emerge de los datos?
Condiciones contextuales	¿Qué entorno particular rodea al fenómeno?
Condiciones intervinientes	¿Qué variables personales o situaciones modulan la vivencia?
Estrategias / Acciones	¿Cómo responden las personas al fenómeno dado el contexto?
Consecuencias	¿Qué resultados producen esas estrategias?

Adaptado de Corbin y Strauss (2015).

En la matriz axial se identificaron subcategorías comunes, fusionadas en etiquetas analíticas asignadas a cada componente, los cuales incluyen una descripción sintética del sentido analítico, lo que facilitó la interpretación posterior (ver Tabla 3).

Finalmente, la codificación selectiva integró las categorías en una narrativa analítica coherente, que explica las experiencias estudiantiles y construye un marco interpretativo sobre el habitar condicionado por la movilidad.

Tabla 3. Extracto de la codificación axial de la entrevista de María.

Paradigma	Categoría axial	Subcategorías	Descripción	Ejes temáticos
Condiciones causales	Barreras estructurales de accesibilidad	Desfase entre horarios de transporte y actividades. Ausencia de transporte en días sin clases. Infraestructura deficiente y exclusión.	La infraestructura vial y la oferta de transporte son insuficientes e irregulares, crean dificultad objetiva para desplazarse.	Accesibilidad estructural Percepción de accesibilidad urbana
Condiciones contextuales	Entorno urbano periférico postpandémico	Emoción de liberación posconfinamiento. Resignificación del desplazamiento posconfinamiento.	Tras la pandemia renace el deseo de moverse con sensación de libertad, pero la localización periférica agudiza las barreras.	Cambios pospandemia Habitar postconfinamiento
Condiciones intervinientes	Factores emocionales y experienciales	Aceleración subjetiva del tiempo por emociones. Pesadez de la espera. Experiencia significativa en transporte.	Los componentes afectivos, como placer, cansancio, modulan la vivencia del trayecto. Situaciones inesperadas en el transporte crean experiencias significativas	Ritmicidad y percepción del tiempo Percepción del entorno urbano Experiencia del trayecto

III. RESULTADOS

Tabla 4. Síntesis de dimensiones del habitar y la movilidad cotidiana en cinco estudiantes.

Estudiante	Apropiación del espacio	Cambios post-confinamiento	Percepción de accesibilidad	Ritmicidad y percepción del tiempo
María	Afectiva y aspiracional (cine, escuela); rechazo sensorial (mercados); resignación en el transporte	Liberación emocional al volver a moverse; resignificación del trayecto	Lejanía y escasez de transporte; deseo de mayor conexión urbana	Tiempo marcado por espera y anticipación; reorganización diaria
Palacios	Afectiva (billar); evitación sensorial (centro); desvinculación del camión	Extrañeza al retornar; alivio emocional; restablecimiento de rutina	Trayectos fragmentados; barreras económicas; ocio inaccesible	Madrugadas forzadas; desgaste por rutina; estrés y pérdida de tiempo
Jesús	Afectiva (Galerías, Bosque); rechazo por inseguridad; experiencia impersonal del transporte	Dificultad para socializar; esfuerzo como preparación para el futuro	Desfase transporte-clases; restricción horaria y económica	Cansancio acumulado; tiempo percibido como lento; planificación forzada
José	Restriictiva y funcional; uso local de espacios; resignación en el transporte	Continuidad de rutinas; poco cambio percibido; extrañeza emocional	Transbordos múltiples; limitación temporal y de disfrute	Rutina anticipada; tiempo resignado; adaptación pasiva
Ricardo	Preferencias recreativas específicas; evitación por congestión o calor; tedio en el transporte	Extrañeza al volver; deterioro del servicio post-covid	Altos costos de vivienda; rutas lentas; reducción de actividades sociales	Jornada extendida; espera prolongada; cansancio persistente

A partir de las entrevistas narrativas se identificaron patrones que muestran cómo las condiciones de movilidad configuran formas diferenciadas de habitar la ciudad. Antes de detallar cada dimensión, se presenta una tabla comparativa que sintetiza las experiencias expresadas por los participantes, lo que permite una visualización transversal de los elementos más significativos (ver Tabla 4). Esta síntesis constituye un insumo clave para la codificación selectiva al facilitar la integración analítica de los hallazgos en torno a una narrativa interpretativa del habitar.

3.1 APROPIACIÓN DEL ESPACIO URBANO

Los relatos revelan una apropiación del espacio influida por la infraestructura, las emociones y experiencias de movilidad. Se configura así un mapa afectivo, donde los estudiantes clasifican los espacios como agradables, indiferentes o evitados, en función de sus sensaciones o restricciones.

Algunos espacios se asocian positivamente, como el billar para Palacios o el Bosque y Galerías para Jesús y Ricardo. Otros como los mercados o el centro, son evitados por aglomeraciones, olores o ruido, mientras que Jesús agrega una dimensión de inseguridad al rechazar algunas colonias populares por su percepción de peligrosas.

Asimismo, se detecta una apropiación resignada del transporte público. Los estudiantes lo describen incómodo, impersonal y ajeno. En este sentido, José señala que este espacio lo percibe eventualmente de su propiedad, pero por costumbre y no por elección. Esta resignación se vincula con la necesidad de cumplir con los trayectos diarios más que con una apropiación activa o deseada del espacio.

Finalmente, surgieron apropiaciones aspiracionales, deseos no concretados de acceder a espacios recreativos que reconocen como valiosos, pero que no pueden asistir de forma regular como quisieran. Los participantes mencionaron deseos de ir al cine, bares o a fiestas con sus compañeros, pero las limitaciones por la distancia y la logística del regreso lo impiden, lo que revela cómo las condiciones de movilidad restringen la posibilidad de construir un habitar urbano pleno.

3.2 CAMBIOS EN LAS PRÁCTICAS DE HABITAR POSCONFINAMIENTO

El regreso a la presencialidad implicó una reconfiguración emocional y funcional del habitar. Para muchos, recuperar la movilidad fue vivido como una experiencia de libertad y reapropiación del espacio, donde desplazarse adquirió un valor simbólico renovado. Otra resignificación aparece en la entrevista con Jesús, quien interpretó las experiencias de los trayectos actuales como una preparación para el futuro, a pesar del desgaste que implican.

Sin embargo, esta reapropiación no es homogénea. Algunos participantes mencionaron una sensación de extrañeza al retomar sus rutinas y señalan el retorno a la presencialidad como algo extraño, al que se acostumbraron poco a poco, pero sin detectar cambios sustanciales en sus trayectos o el entorno en comparación con el periodo previo al confinamiento.

Para algunos estudiantes, las condiciones estructurales de movilidad tras la pandemia se agravaron. Ricardo menciona que, en su caso, disminuyó el número de rutas directas hacia Torreón, lo que evidencia un deterioro del sistema de transporte al reanudarse la presencialidad. Esta situación limitó la reapropiación del espacio urbano.

En suma, los estudiantes enfrentaron un doble proceso: un reencuentro con la ciudad con emociones y expectativas, y por otro lado la reinstalación de barreras estructurales que limitan la posibilidad de un habitar libre, equitativo y disfrutable.

3.3 PERCEPCIÓN DE ACCESIBILIDAD URBANA

Los estudiantes expresaron una accesibilidad urbana desigual condicionada por su ubicación geográfica, la precariedad del transporte y las limitaciones económicas que enfrentan para asistir a sus actividades académicas.

Un obstáculo recurrente es la fragmentación modal. Deben tomar un transporte intermunicipal y luego realizar transbordos para llegar a la CU, lo que genera una desincronización horaria y tiempos de espera. Esta descoordinación entre rutas, horarios escolares y actividades sociales se acentúa en las noches, cuando la baja frecuencia de transporte obliga a los estudiantes a reorganizar rutinas o limitar su participación. Ricardo señala que prefiere permanecer más tiempo en la CU mientras que otros señalaron evitar asistir a actividades sociales ante la escasa disponibilidad de transporte y el alto costo de servicios alternativos como Uber.

Este escenario se agrava por barreras económicas que restringen la posibilidad de reubicarse dentro de Torreón, los altos costos de las rentas en la ciudad representan mayores gastos que sus desplazamientos cotidianos, lo que perpetúa la dependencia de un sistema de transporte poco eficiente. La accesibilidad se convierte en una variable socioeconómica, donde las

oportunidades de participación se condicionan por la capacidad económica familiar.

En este contexto, la accesibilidad no puede entenderse únicamente como la existencia de infraestructura física de transporte, sino como una condición compleja atravesada por el tiempo, la economía, la geografía y las experiencias subjetivas del trayecto.

3.4 RITMICIDAD Y PERCEPCIÓN DEL TIEMPO EN EL HABITAR

La temporalidad de los estudiantes está determinada por los ritmos del transporte, los horarios escolares y las condiciones espaciales de las zonas periféricas donde viven. En lugar de experimentar un tiempo fluido o flexible, describen una vivencia temporal fracturada y agotadora, con efectos en su desempeño académico y bienestar físico-emocional. En todos los casos destaca la anticipación forzada del inicio de la jornada. Deben levantarse antes del amanecer para alcanzar el primer transporte, que frecuentemente resulta ineficiente para asistir puntuales a clase.

La espera crónica es otro rasgo común. Los estudiantes enfrentan largos tiempos muertos, sobre todo en sus trayectos de regreso, cuando los transbordos y rutas indirectas vuelven el trayecto más pesado. Esto les representa una pérdida objetiva de tiempo además de una sensación de ineficiencia y desgaste, ya que describen este proceso con sensaciones de tedio y aburrimiento.

Ante esta ritmicidad impuesta, los estudiantes desarrollan estrategias adaptativas, evitan desplazamientos innecesarios, reorganizan su tiempo de ocio o ajustan sus rutinas familiares y escolares. José y Ricardo prefieren desconectarse durante el trayecto, por lo que duermen o se aíslan del entorno para sobrellevar el cansancio.

Los relatos reflejan una falta de control sobre el ritmo de su habitar, dictado por horarios rígidos y distancias extensas. Esta desincronización repercute en su capacidad de disfrutar la ciudad, cumplir con sus compromisos académicos y sostener una vida social activa.

IV. DISCUSIÓN

La apropiación del espacio es un proceso simbólico y emocional, manifestado en los relatos estudiantiles como un mapa afectivo que delimita espacios preferidos, evitados o resignados. Este fenómeno puede analizarse desde la noción de no lugares de Marc Augé (1995), que describe espacios de tránsito sin identidad ni arraigo. Para muchos participantes, el transporte público se aproxima a esta categoría, un entorno impersonal, donde el habitar se reduce a la espera o al desplazamiento mecánico.

Los cambios en las prácticas de habitar posconfinamiento muestran cómo la experiencia pandémica alteró los ritmos y significados del habitar. Esta reconfiguración coincide con lo planteado por De Certeau (1996), quien entiende que los sujetos reescriben la ciudad a través de sus trayectorias, estrategias y resignificaciones. Mientras algunos estudiantes relatan una reapropiación emocional del entorno tras el encierro, otros evidencian la persistencia de barreras, lo que refuerza el concepto de exclusión por transporte (Lucas, 2012).

Asimismo, se revela una percepción desigual de la accesibilidad urbana. Los estudiantes de zonas periféricas enfrentan obstáculos estructurales que limitan su plena integración a la vida académica y urbana. Esto retoma el concepto de injusticia espacial (Soja, 2013), según el cual las condiciones materiales del territorio reproducen desigualdades en el acceso a derechos como la educación, la cultura o el esparcimiento.

La dimensión de ritmicidad y percepción del tiempo se vincula con Henri Lefebvre (2004), quien plantea que el espacio está organizado por ritmos que pueden entrar en conflicto. En este caso, los estudiantes deben ajustar sus tiempos a los horarios del transporte, la infraestructura deficiente y las exigencias académicas, lo que produce una vivencia temporal marcada por la fatiga, la anticipación forzada y la pérdida de autonomía.

En conjunto, los hallazgos muestran que la movilidad cotidiana es una práctica condicionada, donde las estrategias individuales de adaptación resultan insuficientes frente a las barreras de un modelo urbano segmentado y excluyente.



V. CONCLUSIONES

Este estudio permitió comprender que el habitar universitario en el marco de la movilidad cotidiana, no es un fenómeno homogéneo ni meramente funcional, sino una experiencia atravesada por barreras estructurales, emociones cotidianas y ritmos impuestos. Desde una perspectiva fenomenológica y crítica, se evidenció que las trayectorias diarias producen significados, vínculos de identidad y formas de apropiación, o desposesión, del espacio.

Uno de los principales hallazgos es la existencia de un habitar fragmentado, mediado por la accesibilidad desigual, el desgaste físico y una resignación ante los obstáculos cotidianos. Esta fragmentación no se debe únicamente a la distancia geográfica, sino a una combinación de factores estructurales y simbólicos que configuran formas de exclusión urbana.

Metodológicamente, el enfoque cualitativo-etnográfico permitió captar dimensiones subjetivas que los métodos cuantitativos difícilmente revelarían. Las narrativas permitieron reconstruir un mapa afectivo y rítmico del territorio urbano, lo que permite visualizar las experiencias situadas de movilidad.

Entre las principales aportaciones del estudio, destaca la conceptualización de la movilidad como un eje central del habitar universitario. Esta mirada situada contribuye a los estudios urbanos al mostrar cómo las condiciones de acceso y desplazamiento reproducen o limitan la participación plena en la ciudad en el contexto pospandémico.

Los hallazgos invitan a repensar la planificación urbana y la movilidad desde una perspectiva de justicia espacial, al reconocer las trayectorias de los estudiantes como prácticas que configuran, disputan y reclaman el derecho a la ciudad.

Como toda investigación cualitativa, este estudio presenta limitaciones. El número reducido de participantes restringe la posibilidad de generalizar los hallazgos, asimismo, las experiencias analizadas corresponden a un momento temporal específico del periodo pospandémico, por lo que las percepciones y prácticas de movilidad podrían transformarse con el tiempo o bajo nuevas condiciones urbanas y de transporte. Además, el enfoque

territorial está acotado a la Zona Metropolitana de La Laguna, lo cual impide una comparación directa con otras regiones del país.

Por lo anterior, se sugiere que futuras investigaciones amplíen el número y la diversidad de los participantes, integrando comparaciones entre universidades o regiones con distintos contextos de movilidad. También resulta pertinente combinar metodologías cualitativas y cuantitativas para profundizar en las dimensiones estructurales y subjetivas del habitar.

REFERENCIAS

- Augé, M. (1995). *Non-Places. Introduction to an Anthropology of Supermodernity*. Verso.
- Carmona O'Reilly, S. (2016). Efectos del desarrollo inmobiliario y precio del suelo en la morfología de Torreón. *ANUARIO DE ESPACIOS URBANOS, HISTORIA, CULTURA Y DISEÑO* (23), 17-34. <https://doi.org/10.24275/FBVL4133>
- Corbin, J., y Strauss, A. (2015). *Basics of Qualitative Research (4th ed.): Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. SAGE.
- Cresswell, T. (2006). *On the move: Mobility in the modern western world*. Taylor & Francis.
- Cuadros, G., López, A., Vateva, V., y Aranciba, D. (2023). Impacto del COVID-19 en las preferencias por modos de transporte en ciudades seleccionadas de América Latina. CEPAL.
- De Certeau, M. (1996). *La invención de lo cotidiano: artes de hacer*. I. Universidad Iberoamericana.
- Emerson, R. M., Fretz, R. I., y Shaw, L. L. (2011). *Writing Ethnographic Fieldnotes*. The University of Chicago Press.
- Heidegger, M. (1975). Construir, habitar, pensar. *Revista Teoría*, 5(6), 150-162.
- Hernández-Moreno, J. M., González-Pérez, M. G., y Asprilla-Lara, Y. (2025). Entropías en la movilidad cotidiana de estudiantes de universidades públicas. Un análisis de la Ciudad Universitaria de Torreón. *Revista EURE - Revista de Estudios Urbano Regionales*, 51(154), 1-26. <https://doi.org/10.7764/eure.51.154.04>
- Jirón, P., y Imilan, W. (2016). Observando juntos en movimiento: posibilidades, desafíos o encrucijadas de una etnografía colectiva. *ALTERIDADES*, 26(52), 51-64.
- Lefebvre, H. (2004). *Ritmo-análisis. Espacio, tiempo y vida cotidiana*. Continuum.



- Lindón, A. (2006). Geografías de la vida cotidiana. En A. Lindón, y D. Hiernaux, Tratado de Geografía Humana (págs. 256-400). *Anthropos*.
- Low, S. (2010). *On the Plaza. The Politics of Public Space and Culture*. University of Texas Press.
- Lucas, K. (2012). Transport and social exclusion: Where are we now? *Transport Policy*, 20, 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.01.013>
- Miralles-Guasch, C. (2002). La movilidad cotidiana. Ciudad y Transporte. En C. Miralles-Guasch, Ciudad y transporte: el binomio imperfecto (págs. 27-44). Barcelona: Ariel.
- Nash, S., y Mitra, R. (2019). University students' transportation patterns, and the role of neighbourhood types and attitudes. *Journal of Transport Geography*, 76, 200-211. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.03.013>
- Secunza Schott, C. (26 de Enero de 2016). Estructura y Traza Urbana de Torreón. IMPLAN Torreón: <https://resp.trcimplan.gob.mx/blog/estructura-y-traza-urbana-de-torreon.html>
- Servicio Estadístico Estado de Coahuila. (2023). Estadísticas 911 Educación Superior.
- Shannon, T., Giles-Corti, B., Pikora, T., Bulsara, M., Shilton, T., y Bull, F. (2006). Active commuting in a university setting: Assessing commuting habits and potential for modal change. *Transport Policy*, 13(3), 240-253. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.11.002>
- Sheller, M., y Urry, J. (2006). The New Mobilities Paradigm. *Environment and Planning A*, 38(2), 207-226. <https://doi.org/10.1068/a37268>
- Soja, E. (2013). *Seeking spatial justice*. University of Minnesota Press.
- Soto-Canales, K. (2020). Imaginarios urbanos del usuario del transporte urbano. Espacios de representación social diferenciada en la zona metropolitana de Monterrey. En M. Reyes-Tovar, *Metáforas del Espacio Social* (págs. 171-198). Itaca.
- Soto-Canales, K. (2023). Violencia de género en los trayectos cotidianos en transporte urbano en el Área Metropolitana de Monterrey. *MAGDU. Mundo, Arquitectura, Diseño gráfico y Urbanismo.*, 6(12), 30-54. <https://doi.org/10.36800/madgu.v6i12.92>
- Trundle, C., Gardner, J., y Phillips, T. (2024). The Ethnographic Interview: An Interdisciplinary Guide for Developing an Ethnographic Disposition in Health Research. *Qualitative Health Research*, 1-15. <https://doi.org/10.1177/10497323241241225>
- Valdebenito, F., Mamani, M., Merma, F., Pérez, C., y Sopo, C. (2024). Movilidades estudiantiles en Tacna, Perú: sus prácticas y significaciones fronterizas. *Si Somos Americanos. Revista de Estudios Transfronterizos*, 24, 1-31. <https://doi.org/10.61303/07190948.v24i.1133>



Zhan, G., Yan, X., Zhu, S., y Wang, Y. (2016). Using hierarchical tree-based regression model to examine university student travel frequency and mode choice patterns in China. *Transport Policy*, 45, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.09.006>

