

CELINA PEÑA GUZMÁN (ED)

MUJERES Y SU IMPACTO

EN LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA LATINOAMERICANA



**MUJERES Y SU IMPACTO EN LA CIENCIA
Y TECNOLOGÍA LATINOAMERICANA**





MUJERES Y SU IMPACTO EN LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA LATINOAMERICANA

WOMEN AND THEIR IMPACT ON LATIN AMERICAN SCIENCE AND TECHNOLOGY

USA, Marzo/March, 15. 2026

© Alida Elizabeth Cruz Pérez, Anabelem Soberanes-Martin, Andrea Valencia Martínez, Annel Hurtado Jaramillo, Arturo Serrano Muñoz, Brenda Vianey Hernández-Miramontes, Dolores Mino-León, Dora María Esther González Turrubiates, Dora María Lladó Lárraga, Edgar Serrano Pérez, Edgar Uxmal Maya Palacios, Elena Aurora Popoca Hernández, Elsa María de la Calleja Mora, Evelia Arteaga Conde, Evelia Luna Morales, Ezequiel Vallejo Ríos, Héctor Alonso Guerrero Osuna, Hugo Arcos Gutiérrez, Ian Alexis Rocha-Peláez, Irene Aurora Espinosa De Santillana, Iván Loreto-Hernández, Jenifer Estefania Mercado Velazquez, Jeny Haideé Espinosa Barajas, José Armando Olmos López, José Luis Castillo Mendoza, Josefina Guzmán Acuña, Judith Araceli Olguín-Pérez, Karla Marisol Teutli Mellado, Laura Alejandra Dávila Sánchez, Liliana Rendón Rojas, Lorena González Díaz, Luis Álvaro Zavala Guerrero, Luis Octavio Solís Sánchez, Ma. del Rosario Martínez Blanco, Ma. Guadalupe Rivera Ruedas, Magally Martínez-Reyes, María Elena Luna Morales, María Guadalupe Hernández Cruz, María Luisa Berenice Benito Díaz, María Teresa González Barrón, Martha Angélica Cano Figueroa, Reinalda Soriano Peña, Rocío del Carmen Vargas Castilleja, Teresita Romero Ogawa, Teresa de Jesús Guzmán Acuña, Urith N. Ramírez-Mera, Verónica Hernández-Mena, Víctor Hugo Mercado Lemus, Yolanda Martina Martínez Barragán, Zulma Raquel Zeballos Pinto

Cómo citar / How to cite: Peña Guzmán, C. (2026). *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto>

Thema Classification: JBSF1, PDR, VFDW

Portada / Cover: Ronald Morillo. Portada diseñada con apoyo parcial de inteligencia artificial y edición humana.

Diseño / Graphic design: Equipo de diseño High Rate Consulting Co

Revisión de estilo / Style review: Carlos Scarabelli

ISNI High Rate Consulting: <https://isni.org/isni/0000000492376119>

e-ISBN: 978-1-969700-15-6 | ISBN: 978-1-969700-16-3

High Rate Consulting, Corp. Plano, TX, USA | Phone: +1 786 566 0795 | Email: wile@higrateco.com

ESTE LIBRO HA SIDO ARBITRADO POR PARES CIEGOS Y ES PRODUCTO DE INVESTIGACIÓN.
THIS BOOK HAS BEEN REVIEWED BY DOUBLE BLIND PEERS AND IS PRODUCT OF RESEARCH.



AUTORES/AUTHORS

Alida Elizabeth Cruz Pérez

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
alida.cruz@ujat.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7216-2699>

Anabelem Soberanes-Martín

Universidad Autónoma del Estado de México, México.
asoberanesm@uaemex.mx
<https://orcid.org/0000-0002-1101-8279>

Andrea Valencia Martínez

Instituto Politécnico Nacional, México.
avalenciam@ipn.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2674-6666>

Annel Hurtado Jaramillo

Universidad Autónoma del Estado de México, México
ahurtadoj@uaemex.mx
<http://orcid.org/0000-0002-6877-4227>

Arturo Serrano Muñoz

Universidad Autónoma de Zacatecas, México.
ar2ro.lml@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-1554-690X>

Brenda Vianey Hernández-Miramontes

Universidad Autónoma del Estado de México, México.
bhernandezm026@alumno.uaemex.mx
<https://orcid.org/0009-0006-1093-5717>

Dolores Mino-León

Hospital de Especialidades CMN SXXI. Instituto Mexicano del Seguro Social, México.
minod_mx@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-5154-2728>

Dora María Esther González Turrubiates

Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
dgonzale@docentes.uat.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-3043-7740>

Dora María Lladó Lárraga

Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
dllado@docentes.uat.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2368-3695>

Edgar Serrano-Pérez

Universidad Autónoma del Estado de México, México.
eserranop_s@uaemex.mx
<https://orcid.org/0000-0003-4012-9709>

Edgar Uxmal Maya Palacios

Universidad Tecnológica de Altamira, México.
emaya@utaltamira.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2599-5628>

Elena Aurora Popoca Hernández

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
elena.popoca@correo.buap.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9076-0713>

Elsa María de la Calleja Mora

CIATEQ, A.C. Centro de Tecnología Avanzada, México.
elsa.delacalleja@ciateq.mx
<https://orcid.org/0000-0003-0577-3785>

Evelia Arteaga Conde

Universidad Autónoma de la Ciudad de México.
evelia.arteaga@uacm.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6562-6982>

Evelia Luna Morales

Instituto Politécnico Nacional, México.
eluna@cinvestav.mx
<https://orcid.org/0000-0002-7791-5925>

Ezequiel Vallejo Ríos

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México.
vallejoe@tec.mx
<https://orcid.org/0009-0009-5767-0180>

Héctor Alonso Guerrero Osuna

Universidad Autónoma de Zacatecas, México.
hectorguerrero@uaz.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-0743-842X>

Hugo Arcos Gutiérrez

CIATEQ, A.C. Centro de Tecnología Avanzada, México.
hugo.arcos@ciateq.mx
<https://orcid.org/0000-0002-4267-4850>

Ian Alexis Rocha-Peláez

Hospital de Especialidades CMN SXXI. Instituto Mexicano del Seguro Social, México.
ianrochap9@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-0766-821X>

Irene Aurora Espinosa De Santillana

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
irene.espinosa@correo.buap.mx
<https://orcid.org/0000-0002-9055-2460>

Iván Loreto-Hernández

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
iloretohe@secihti.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7616-8828>

Jenifer Estefanía Mercado Velazquez

Universidad Autónoma de Zacatecas, México.
38191892@uaz.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0002-3279-7707>

Jeny Haideé Espinosa Barajas

Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
jhespinoza@docentes.uat.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8679-5697>

José Armando Olmos López

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
armando.olmos@ujat.mx
<https://orcid.org/0000-0002-1043-6153>

José Luis Castillo-Mendoza

Universidad Autónoma del Estado de México, México.
jlcastillom@uaemex.mx
<https://orcid.org/0000-0002-5668-0602>

Josefina Guzmán Acuña

Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
jguzman@docentes.uat.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7933-0560>

Judith Araceli Olgún-Pérez

Universidad Nacional Autónoma de México, México.
jaolguinp@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-3241-1421>

Karla Marisol Teutli Mellado

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
karla.teutli@correo.buap.mx
<https://orcid.org/0000-0002-4515-7410>

Laura Alejandra Dávila Sánchez

Instituto Politécnico Nacional, México.
lau.dasa@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-3487-1447>

Liliana Rendón Rojas

Universidad Autónoma del Estado de México, México.
lrendonr@uaemex.mx
<https://orcid.org/0000-0003-1735-8757>

Lorena González Díaz

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
lorena.gonzalez@ujat.mx
<https://orcid.org/0009-0001-0824-307X>

Luis Álvaro Zavala Guerrero

Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
lazavala@docentes.uat.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0001-1792-6892>

Luis Octavio Solís Sánchez

Universidad Autónoma de Zacatecas, México.
lsolis@uaz.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2545-4116>

Ma. del Rosario Martínez Blanco

Universidad Autónoma de Zacatecas, México.
mrosariomb@uaz.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9278-2094>

Ma. Guadalupe Rivera Ruedas

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
guadalupe.rivera@ujat.mx
<https://orcid.org/0009-0006-0233-8525>

Magally Martínez-Reyes

Universidad Autónoma del Estado de México, México.
mmartinezr@uaemex.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2643-6748>

María Elena Luna Morales

Instituto Politécnico Nacional, México.
meluna@cinvestav.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6810-2949>

María Guadalupe Hernández Cruz

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
mguadalupe.hernandez@ujat.mx
<https://orcid.org/0000-0003-0131-7088>

María Luisa Berenice Benito Díaz

Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
maria.benito@docentes.uat.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0005-5592-8441>

María Teresa González Barrón

Universidad Tecnológica de Altamira, México.
mgonzalez@utaltamira.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0006-1118-373X>

Marlen Rocío Reyes Hernández

Universidad Autónoma del Estado de México, México
mrreyesh@uaemex.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8339-4011>

Martha Angélica Cano Figueroa

CIATEQ, A.C. Centro de Tecnología Avanzada, México.
martha.cano@ciateq.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2514-8883>

Reinalda Soriano Peña

Universidad Autónoma de Querétaro, México.
reinalda.soriano@uaq.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2377-3762>

Rocío del Carmen Vargas Castilleja

Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
rocvargas@docentes.uat.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-3930-6245>

Teresa de Jesús Guzmán Acuña

Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
tjguzman@docentes.uat.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-4760-930X>

Teresita Romero Ogawa

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
teresita.romero@correo.buap.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8271-8301>

Urith N. Ramírez-Mera

Universidad de Guadalajara, México.
Urith.ramirez@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8715-4499>

Verónica Hernández-Mena

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
veroh114@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7250-4281>

Víctor Hugo Mercado Lemus

SECIHTI-Innovabienestar de México, México.
victor.mercado@ciateq.mx
<https://orcid.org/0000-0002-9040-4484>

Yolanda Martina Martínez Barragán

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
yolanda.martinez@correo.buap.mx
<https://orcid.org/0009-0009-5713-8864>

Zulma Zulma Raquel Zeballos Pinto

Instituto Politécnico Nacional, México.
zzebaloosp@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2442-7610>

ÍNDICE

Presentación Angélica Mendieta Ramírez	10
Introducción Introduction Celina Peña Guzmán	11
La inteligencia artificial generativa y la investigación educativa Generative artificial intelligence and educational research Reinalda Soriano Peña	13
Género y uso de IA generativa en la educación superior universitaria Gender and use of generative AI in university higher education Jeny Haideé Espinosa Barajas; Dora María Lladó Lárraga; Teresa de Jesús Guzmán Acuña; Josefina Guzmán Acuña	23
Género e inteligencia artificial en la educación en México: la realidad invisible Gender and artificial intelligence in education in Mexico: the invisible reality Urith Ramírez-Mera; Zulma Raquel Zeballos Pinto	33
Gemelos digitales en realidad aumentada para el despiece didáctico de una cortadora de carne Augmented reality digital twins for the didactic disassembly of a meat cutter Jenifer Estefanía Mercado Velazquez; Héctor Alonso Guerrero Osuna; Arturo Serrano Muñoz; Luis Octavio Solís Sánchez; Ma. del Rosario Martínez Blanco	43
Gestión del riesgo por inundación aplicando el Modelo HEC-RAS en Microcuencas Urbanas Flood risk management applying the HEC-RAS Model in Urban Micro-Watersheds María Luisa Berenice Benito Díaz; Dora María Esther González Turrubiates; Rocío del Carmen Vargas Castilleja; Luis Álvaro Zavala Guerrero	53
Estudio bibliométrico de la producción científica de los investigadores SNII de la Universidad Autónoma de Zacatecas: 2019-2023 Bibliometric study of the scientific production of SNII researchers at the Autonomous University of Zacatecas: 2019-2023 María Elena Luna Morales ; Laura Alejandra Dávila Sánchez; Evelia Luna Morales	65
Enfermedad vascular cerebral y errores de prescripción Cerebrovascular disease and prescribing errors Dolores Mino-León; Ian Alexis Rocha-Peláez; Judith Araceli Olguín-Pérez	77
Experiencias y desafíos de las mujeres cuidadoras primarias de personas con discapacidad Experiences and Challenges of Primary Women Caregivers of People with Disabilities Karla Marisol Teutli Mellado; Yolanda Martina Martínez Barragán; Teresita Romero Ogawa; Elena Aurora Popoca Hernández; Irene Aurora Espinosa De Santillana	85
Análisis geohistórico de la tipología documental en la comunicación científica mexicana, 1792-1979 Geo-Historical Analysis of Documentary Typologies in Mexican Scientific Communication, 1792-1979 Andrea Valencia Martínez; Ezequiel Vallejo Rios	95

Actitudes hacia los elementos STEM de las estudiantes de Mecatrónica UT Altamira Attitudes towards STEM elements of Mechatronics students at UT Altamira María Teresa González Barrón; Edgar Uxmal Maya Palacios	107
Desarrollo de recursos interactivos para fomentar la participación femenina en STEAM Development of interactive resources to promote female participation in STEAM Anabelem Soberanes Martín; Edgar Serrano-Pérez; José Luis Castillo Mendoza; Brenda Vianey Hernández Miramontes; Magally Martínez-Reyes	117
Carbón activado de bagazo de caña como soporte de catalizadores para la obtención de biodiésel Sugarcane Bagasse-Derived Activated Carbon as a Catalyst Support for Biodiesel Production María Guadalupe Hernández Cruz; Alida Elizabeth Cruz Pérez; José Armando Olmos López; Ma. Guadalupe Rivera Ruedas; Lorena González Díaz	129
Las emociones y las mujeres: Agencia femenina en Grecia antigua Emotions and women: Female agency in ancient Greece Evelia Arteaga Conde	141
Moldes polivalentes: más producto, menos inversión Multipurpose molds: more product, less investment Martha Angélica Cano Figueroa; Elsa María de la Calleja Mora; Hugo Arcos Gutiérrez; Víctor Hugo Mercado Lemus	151
Modelación Matemática y Educación STEM: un enfoque integrado para el desarrollo de competencias científicas Mathematical Modeling and STEM Education: an integrated approach for the development of scientific competencies Verónica Hernández-Mena; Iván Loreto-Hernández	161
Determinantes del empleo formal femenino en México: evidencia regional postpandemia, 2020T4 vs 2024T4 Determinants of Female Formal Employment in Mexico: Regional Evidence in the Post-Pandemic Period, 2020T4 vs. 2024T4 Annel Hurtado Jaramillo; Liliana Rendón Rojas; Marlen Rocío Reyes Hernández	171



CELINA PEÑA GUZMÁN (Ed.)

Subsecretaria de Desarrollo Tecnológico, Vinculación e Innovación de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación.

Doctora en Administración y Gestión Estratégica, maestra en Ciencias Sociales y licenciada en Historia. Es profesora investigadora de la Facultad de Ciencias de IredConpadreeón en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, donde se ha especializado en gestión y conservación del patrimonio industrial.

En el ámbito de la administración pública, se desempeñó como titular de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación del Estado de Puebla, desde donde impulsó iniciativas orientadas al fortalecimiento de la vinculación académica, el desarrollo tecnológico y la innovación con enfoque social.

Es integrante de la red INCUNA (Industria, Cultura, Naturaleza), con sede en España, y profesora invitada del máster TPTI (Técnica, Territorio y Patrimonio de la Industria) en la Universidad París I Panthéon-Sorbonne.

Ha publicado en revistas latinoamericanas e internacionales sobre gestión del patrimonio industrial, así como en temas de literatura, educación, comunicación de la ciencia y comunicación para el desarrollo y el cambio social. Ha participado en congresos nacionales e internacionales en materia de políticas públicas, comunicación política, patrimonio industrial e historia.

Actualmente forma parte del Comité Mexicano para la Conservación del Patrimonio Industrial; colabora en la Enciclopedia de la Literatura en México, editada por la Fundación para las Letras Mexicanas, con apoyo de la Secretaría de Cultura y el Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura; y es integrante de la redConpadree en Brasil.

PRESENTACIÓN

Angélica Mendieta Ramírez - Presidenta de la Red Internacional de Mujeres Científicas

Me es grato saber que las mujeres pueden integrarse en un proyecto sólido y firme de investigación transdisciplinaria. Bajo el liderazgo de la Doctora Celina Peña Guzmán se presentan resultados de la ciencia que hacen las mujeres. En ese sentido, puedo señalar que hay personas que no esperan a que este mundo cambie, promueven el cambio.

Este libro nació de una pregunta sencilla ¿dónde están las investigadoras?, las que trabajan todos los días en universidades de este continente, las que publican con rigor, y construyen conocimiento sin que nadie les garantice que alguien lo va a leer.

Durante demasiado tiempo, la ciencia construyó su historia con una parte de la humanidad en los márgenes. Este libro no pretende remediar siglos de invisibilidad, pero sí se niega a seguir mirando hacia otro lado.

Hablar de mujeres en la ciencia no es hablar de excepción ni de cuota. Es hablar de una presencia que siempre estuvo, que investigó, que calculó, que propuso y que transformó el conocimiento desde adentro, aunque los reflectores apuntaran hacia otro lado. Lo que ha cambiado no es su capacidad ni su rigor. Lo que cambia, es la disposición colectiva de reconocerlas.

América Latina no puede seguir desperdiciando el talento de la mitad de su población. Es una frase que se escucha mucho en foros y discursos, y precisamente por eso corre el riesgo de volverse vacía. Lo que este libro hace es llenarla de contenido concreto, porque muestra investigadoras que trabajan sobre inteligencia artificial, salud pública, gestión ambiental, educación, procesos productivos y humanidades, todas desde contextos latinoamericanos reales, todas con preguntas que nacen de problemas que no pueden esperar. Ese es el impacto que más importa porque transforma algo en algún lugar específico para personas específicas.

Audrey Azoulay, Directora General de la UNESCO (2022), sostiene que "Solo aprovechando todas las fuentes de conocimiento, todos los talentos disponibles, podemos desbloquear el potencial completo de la ciencia y enfrentar los desafíos de nuestro tiempo". Cuando las mujeres están ausentes de la ciencia, esa ciencia llega incompleta y sesgada. Menos innovaciones médicas, menos soluciones tecnológicas, menos capacidad para resolver los problemas en nuestras sociedades. Cada exclusión tiene un costo, y ese costo lo pagamos todos.

Por eso este libro existe. Porque reúne a investigadoras latinoamericanas que ya están actuando, que ya están transformando. Lidia Brito, Subdirectora General de Ciencias Naturales de la UNESCO (2023) y experta regional en América Latina señaló que "Imaginar un mundo con más mujeres en la ciencia no es solo una aspiración, sino una llamada a la acción para crear soluciones que no dejen a nadie atrás". Las mujeres aquí reunidas ya están creando esas soluciones. Ya están respondiendo preguntas que sus sociedades necesitaban que alguien formulara. Lo único que faltaba era visibilizar y humanizar la ciencia, porque el conocimiento que no circula, que no se discute no se transforma.

INTRODUCCIÓN

Celina Peña Guzmán

“Siempre habrá ciencia, ingeniería y tecnología; algunas cosas pasarán de moda, pero el trabajo científico perdura.” — Katherine Johnson

Este libro nace de la experiencia directa con la ciencia, reúne trabajos que combinan rigor académico y compromiso social para mostrar que el conocimiento en América Latina no es neutral. Está condicionado por instituciones, valores éticos y contextos territoriales, y solo políticas sensibles a esa complejidad pueden responder adecuadamente.

El texto ofrece análisis técnicos, propuestas pedagógicas y reflexiones humanistas: desde estudios sobre inteligencia artificial y herramientas didácticas inmersivas hasta investigaciones en salud, gestión ambiental y procesos productivos. Mirar la ciencia desde una perspectiva de género incrementa su pertinencia y potencia su capacidad de impacto.

Los capítulos ofrecen tanto diagnósticos como propuestas prácticas. No se trata solo de documentar brechas, sino que aportan alternativas, herramientas, modelos, recursos y marcos interpretativos que pueden transformar aulas, laboratorios, políticas y comunidades:

Tecnologías emergentes, ética y sesgos de género

- Reinalda Soriano Peña — Inteligencia Artificial Generativa: Reflexiona desde la experiencia de doctorandas en Querétaro sobre los dilemas éticos y formativos de la IA generativa en contextos educativos, ponderando su potencial pedagógico y los riesgos para la integridad académica.
- Jeny Haideé Espinosa Barajas; Dora M. Lladó Lárraga; Teresa de J. Guzmán Acuña; Josefina Guzmán Acuña — Género y Uso de IA en Educación Superior: Analizan cómo las dinámicas de género condicionan la apropiación y confianza en herramientas de IA en la universidad, y proponen políticas institucionales para una adopción más equitativa.
- Urith Ramírez Mera; Zulma R. Zeballos Pinto — Sesgos de Género en IA en Contextos Educativos en México: Evidencian cómo decisiones de diseño y la ausencia de datos interseccionales perpetúan desigualdades en aplicaciones educativas de IA y plantean criterios para desarrollos más inclusivos.
- Determinantes del empleo formal femenino en México: evidencia regional postpandemia, 2020T4 vs 2024T4. Annel Hurtado Jaramillo; Liliana Rendón Rojas; Marlen Rocío Reyes Hernández

Innovación educativa y formación STEAM

- Jenifer E. Mercado Velázquez; Héctor A. Guerrero Osuna; Arturo Serrano Muñoz; Luis O. Solís Sánchez; Ma. del R. Martínez Blanco — Realidad Aumentada para Educación Técnica: Presentan un gemelo digital en RA para el despiece didáctico de una cortadora industrial, una propuesta que prioriza seguridad, interacción y transferencia de habilidades.
- Anabelem Soberanes Martín; Edgar Serrano Pérez; José L. Castillo Mendoza; Brenda V. Hernández Miramontes; Magally Martínez Reyes — Recursos para Fomentar la Participa-

ción Femenina en STEAM: Diseñan y evalúan herramientas interactivas destinadas a motivar vocaciones y transformar prácticas educativas con perspectiva de género.

- Verónica Hernández Mena; Iván Loreto Hernández — Unión de Modelación Matemática y Educación STEM: Defienden el uso de modelación aplicada y problemas auténticos como vía para fortalecer competencias científicas y orientar vocaciones desde la enseñanza contextualizada.
- Actitudes hacia los elementos STEM de las estudiantes de Mecatrónica UT Altamira. María Teresa González Barrón; Edgar Uxmal Maya Palacios

Medio ambiente, producción y procesos industriales

- María Luisa Benito Díaz; Dora M. E. González Turrubiates; Rocío del C. Vargas Castilleja; Luis Á. Zavala Guerrero — Gestión de Riesgos por Inundaciones: Aplican el modelo HEC RAS a microcuencas urbanas para generar mapas y escenarios que guían la planificación territorial preventiva y la mitigación de riesgos.
- María Guadalupe Hernández Cruz; Alida E. Cruz Pérez; José A. Olmos López; Ma. G. Rivera Ruedas; Lorena González Díaz — Innovaciones en Producción de Biodiésel: Evalúan el carbón activado de bagazo de caña como soporte catalítico, proponiendo una alternativa sustentable que integra residuos agroindustriales y valorización energética.
- Martha A. Cano Figueroa; Elsa M. Calleja de la Mora; Hugo Arcos Gutiérrez; Víctor H. Mercado Lemus — Innovación en Moldes Industriales: Presentan el diseño de moldes polivalentes para fundición a gravedad, orientados a reducir inversiones y aumentar la flexibilidad productiva.

Investigación, evaluación y visibilidad académica

- María Elena Luna Morales; Laura A. Dávila Sánchez; Evelia Luna Morales — Análisis Bibliométrico en Zacatecas: Ofrecen una lectura de la producción científica SNII (2019–2023) que identifica tendencias temáticas, niveles de visibilidad y brechas de género útiles para la toma de decisiones institucionales.

Salud, prescripción y cuidados

- Dolores Mino León; Ian A. Rocha Peláez; Judith A. Olguín Pérez — Errores de Prescripción y Enfermedad Vascul ar Cerebral: Investigan factores farmacológicos y sociodemográficos relacionados con la EVC, proponiendo recomendaciones para mejorar la seguridad y la atención primaria.
- Karla M. Teutli Mellado; Yolanda M. Martínez Barragán; Teresita R. Ogawa; Elena A. Popoca Hernández; Irene A. Espinosa de Santillana — Desafíos de Mujeres Cuidadoras de Personas con Discapacidad: Recogen experiencias que describen cargas, estrategias de resiliencia y demandas concretas para políticas públicas sensibles al género.

Historia, comunicación científica y enfoques humanistas

- Andrea Valencia Martínez; Ezequiel Vallejo Ríos — Historia de la Comunicación Científica en México: Proponen una mirada geohistórica (1792–1979) sobre tipologías documentales que ayudan a comprender la construcción y circulación del conocimiento científico en el tiempo.
- Evelia Arteaga Conde — Agencia Femenina en Grecia Antigua: Relee Hécuba de Eurípides para mostrar cómo las emociones y los lamentos pueden constituir formas de agencia y acción social en contextos históricos, aportando una perspectiva humanista y feminista.

Las propuestas incluidas muestran que la inclusión no es una concesión sino una estrategia de mejora epistemológica y social.

Que este libro motive acciones concretas: cambios en políticas institucionales, prácticas docentes más inclusivas y soluciones técnicas que valoren la diversidad. Ojalá también inspire a investigadoras, docentes y financiadores a apostar por perspectivas distintas, porque la pluralidad no es un lujo sino la condición para una ciencia más justa, útil y relevante.

La inteligencia artificial generativa y la investigación educativa

Reinalda Soriano Peña

RESUMEN

La Inteligencia Artificial (IA) y la Inteligencia Artificial Generativa (IAGen) no solo tienen que ver con lo técnico y lo tecnológico, es importante investigar sus implicaciones educativas, sociales, económicas y políticas. Se requiere problematizarlas, preguntarse qué traen, qué producen, que mundos producen, discutir sus límites, sus beneficios, qué problemas provocan. Se presentan los resultados preliminares de una investigación de carácter cualitativa, interpretativa y de campo. La pregunta central es ¿cuáles son las significaciones que construyen las estudiantes de un doctorado en educación en modalidad virtual en Querétaro durante los procesos de uso y apropiación de IAGen durante el desarrollo de su investigación-intervención para ser doctoras en educación? En la investigación se recupera la perspectiva interdisciplinaria del análisis político de discurso (APD). Se recupera del APD su noción de discurso, principalmente del discurso educativo. La metodología es de carácter cualitativa e interpretativa, los instrumentos son un cuestionario con preguntas abiertas y cerradas. En los resultados se presentan las significaciones y sentidos que construyen las estudiantes en el uso de estas herramientas tecnológicas, también preocupaciones y temores de realizar prácticas no éticas, como es el plagio, ante su escaso conocimiento de estas tecnologías.

Palabras clave: Inteligencia Artificial Generativa, investigación educativa, análisis político de discurso.

Cómo citar: Soriano Peña, R. (2026). La inteligencia artificial generativa y la investigación educativa. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto1>

Generative artificial intelligence and educational research

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) and Generative Artificial Intelligence (GenAI) are not only related to technical and technological aspects; it is important to investigate their educational, social, economic, and political implications. They need to be problematized by asking what they bring, what they produce, what worlds they produce, and by discussing their limits, benefits, and the problems they generate. This paper presents the preliminary results of a qualitative, interpretive, and field-based study. The central research question is: what meanings do female students enrolled in an online doctoral program in education in Querétaro construct during the processes of using and appropriating GenAI in the development of their research-intervention to become doctors of education? The study draws on the interdisciplinary perspective of Political Discourse Analysis (PDA). From PDA, it adopts the notion of discourse, particularly educational discourse. The methodology is qualitative and interpretive in nature, and the instruments consist of a questionnaire with open-ended and closed-ended questions. The results present the meanings and senses constructed by the students in their use of these technological tools, as well as concerns and fears about engaging in unethical practices, such as plagiarism, given their limited knowledge of these technologies.

Keywords: Generative Artificial Intelligence, educational research, political discourse analysis.

INTRODUCCIÓN

En el presente escrito se presentan algunos resultados de una investigación cualitativa, interpretativa y de campo, de mayor alcance, todavía en proceso. Pretende aportar al campo del conocimiento de la investigación educativa desde una perspectiva interdisciplinaria, de manera particular a la Pedagogía al no limitarse a los procesos de enseñanza y aprendizaje, sino también la construcción de mundos con justicia social para las mujeres desde sus propios discursos. Principalmente en relación con el uso y la apropiación de las tecnologías, específicamente de la Inteligencia Artificial Generativa (IAGen), donde destacan los procesos de construcción identitaria de mujeres estudiantes de un doctorado en educación.

Desde una mirada pedagógica, es relevante la interpelación de “producir una cierta interrupción, ayudar a detenerse, mirar de otro modo [...] Tiene que haber una decisión pedagógica de invitar a mirar algunas cosas, aunque incómoden, pero es necesario que las miremos” (Dussel, 2024 en Barone y Capasso, 2024, p. 5). Uno de ellos es la construcción de mundos con justicia social para las mujeres para coadyuvar a la igualdad de sus derechos, oportunidades y trato en todos los ámbitos de la vida, incluyendo el académico. En este caso, al analizar cómo llegan a ser doctoras en educación, cobra relevancia escuchar sus voces para analizar y comprender cómo viven las prácticas de investigación educativa en el doctorado con el uso o no de la IAGen. De cómo es significada esta herramienta tecnológica y si es o

no utilizada, de cuáles son los sentidos que construyen en las prácticas de investigación educativa que desarrollan.

En los resultados preliminares de la investigación que se presenta, se recupera la perspectiva interdisciplinaria del análisis político de discurso (APD) (Laclau y Mouffe, 1987) que recupera diversas disciplinas y tradiciones teóricas, como: la lingüística de Saussure, el pragmatismo que destaca en el pensamiento de Wittgenstein, el psicoanálisis para el análisis de lo social, principalmente desde el pensamiento lacaniano, de Žižek, el posestructuralismo derridiano, la genealogía de Foucault y el posmarxismo de Laclau.

El APD aporta una dimensión epistemológica que permite la reflexión de las relaciones entre “el conocimiento y el mundo existente, cómo hacemos jugar la teoría, sabiendo que carece de un estatuto privilegiado, que no es trascendental sino contextual, en la construcción de conocimiento de un fenómeno que tiene lugar en un contexto histórico particular” (Buenfil, 2019, p. 37).

También se recupera del APD su noción de discurso, principalmente del discurso educativo (Buenfil, 2019). Esta noción posibilita analizar los diferentes significados del término IAGen que son construidas en el ámbito de lo social, pues recupera el pensamiento saussuriano, de que un significante puede tener múltiples significados.

Por otro lado, es importante señalar que la Inteligencia Artificial (IA) y la IAGen forman parte de las tecnologías computacionales, que no solo tiene que ver con lo

técnico y lo tecnológico, sino que importante investigar sus implicaciones educativas, sociales, económicas y políticas. Es necesario problematizarlas, preguntarse qué traen, qué producen, que mundos producen, discutir sus límites, sus beneficios, qué problemas provocan (Dussel, 2024, en Barone y Capasso, 2024)

Se vive actualmente una irrupción vertiginosa de tecnologías en el ámbito educativo. En noviembre de 2022 se llevó a cabo el lanzamiento del modelo de IAGen para generar información. El primer modelo de IAGen para generar información, fue Chat Generative Pre-Trained (ChatGPT) por la empresa internacional estadounidense OpenAI en noviembre de 2022 (Rendón, et al., 2025). Los modelos generativos han crecido de manera vertiginosa, ya que además de ChatGPT actualmente en su versión 4, también se han creado Gemini que surgió como una alternativa a ChatGPT, Llama, Mistral AI, DeepSeek, Dall E, Deepfake, Genenerative Adversarial Networks (GAN), etcétera.

Ante esta irrupción tan acelerada no “podemos darnos el lujo de ser solo espectadores, hemos asumido un rol activo explorando cómo estas tecnologías pueden potenciar nuestras capacidades como educadores, investigadores y estudiantes sin dejar de cuestionar sus costos, sus limitaciones y sus potenciales efectos adversos” (Sánchez, 2024 en Frías, 2024, p. 19). Tampoco se considera que la IAGen sea una herramienta, dado que es significada como una oportunidad.

“Para reimaginar nuestras prácticas educativas, desafiar los límites de lo posible y, ante todo, construir un futuro educativo que responda a las necesidades de nuestra comunidad universitaria y de la sociedad. La educación no depende únicamente de las tecnologías, sino también de la manera en que decidimos usarlas en consenso con nuestros estudiantes” (Sánchez, 2024 en Frías, 2024, p. 19).

Desde este posicionamiento, cobra importancia investigar las prácticas de investigación educativa con el uso o no de la IAGen en los posgrados en educación del país. La metodología que se construyó es de carácter cualitativa e interpretativa para dar respuesta a la pregunta central de investigación ¿cuáles son las significaciones que construyen las estudiantes de un doctorado en educación en modalidad virtual en Querétaro durante los procesos de uso y apropiación de la IAGen durante el desarrollo de sus investigación-intervención para ser doctoras en educación?

El presente escrito está organizado de la siguiente manera: en primer lugar, se presentan las referencias conceptuales, principalmente desde la perspectiva del APD, pero también se recuperan otras perspectivas compatibles; en segundo lugar, la metodología de la investigación; en tercer, lugar los resultados y la discusión de los mismos, a partir de un trabajo analítico e interpretativo. Finalmente, las conclusiones de la investigación.

Objetivo: Analizar los discursos de las y los estudiantes de un doctorado en educación en modalidad virtual de Querétaro, durante el desarrollo de su investigación inter-

vención en relación con el significante Inteligencia Artificial Generativa (IAGen). Aquí solamente se presentan los resultados del análisis de los discursos de estudiantes mujeres.

Referencias conceptuales

El término IAGen ha tenido distintas acepciones dependiendo del contexto en donde se enuncia y en los sentidos que se construyen a partir de las necesidades sociales de las tecnologías (Van Dijk, 2019). Es importante profundizar por qué ciertos conceptos y temas se vuelven problemas que requieren de la atención y de la sociedad (Dussel y Castro, 2024), como es el uso o no de la IAGen durante el desarrollo de la investigación educativa doctoral. Los investigadores proponen pensarlos como parte de un campo problemático, para revisar las disputas conceptuales en el campo de la investigación.

Este posicionamiento es relevante porque permite alejarse de un pensamiento basado en un determinismo tecnológico y pensar que por sí mismo produce cambios culturales (Dussel y Castro, 2024). Es necesario dar cuenta de las apropiaciones, las resignificaciones y las resistencias que construyen los sujetos sociales en diferentes contextos educativos y de manera particular en los procesos de investigación educativa.

Se recupera la perspectiva del APD (Laclau y Mouffe, 1987) porque aporta una noción de discurso que no se limita a lo oral o escrito. La noción de discurso es entendida como configuración significativa, que tiene que ver con acciones lingüísticas y extralingüísticas, es constitutiva de lo social. El discurso “no se define por su soporte material lingüístico, sino por su carácter significante de cualquier material (práctica, gesto, enunciación, objeto, disposición del espacio, actitud, preferencias estéticas, y un larguísimo etcétera” (Buenfil, 2019, p. 224).

Esta noción posibilita analizar las diferentes acepciones del término IAGen enunciadas por las estudiantes del doctorado en educación en modalidad virtual en Querétaro en relación con el significante IAGen y que son puestas en práctica en su investigación-intervención. Asimismo, esta perspectiva contribuye a la investigación educativa para la producción de conocimientos, desde una consistencia conceptual, metodológica y analítica del referente empírico (Buenfil, 2019).

Al respecto, es importante tener presente que los términos, nociones, conceptos no son unívocos sino polisémicos, ya que forman parte de los procesos que se llevan a cabo, como ya se ha reiterado, en lo social donde se construyen, transforman, cambian; o también donde se sedimentan y permanecen (Granja Castro, 1996) y en donde incluso puede desarrollarse una disputa conceptual. Desde este posicionamiento se puede considerar que la investigación educativa es una práctica social, política y discursiva.

La teoría sociocultural también aporta el concepto de mediación, que apoya en entender a la IAGen como artefactos, herramientas culturales, tecnologías que “permiten la mediación simbólica y material entre los agentes humanos

y su entorno. En este sentido, las herramientas de IAGen permiten construir significados [...] posibilitan la realización de acciones que forman parte de actividades sociales en que las personas participan” (CEIDE (2025, pp. 20-21).

En las teorías feministas multiculturales, la categoría social de género, es relevante porque supera la oposición binaria sexo/género, lo que ha desnaturalizado la categoría mujer al tomar conciencia de sus vidas sociales (Haraway, 1991), importa conocer sus condiciones de vida de ser mujer, ser estudiante, ser tesista, en este caso, en un doctorado en educación.

También es relevante revisar cómo las tecnologías tienen presencia en lo social y en la política. No considerarlas como “un determinismo tecnológico, sino como un sistema histórico que depende de las relaciones estructuradas entre la gente [...] la ciencia y la tecnología suministran fuentes frescas de poder [...] necesitamos fuentes frescas de análisis y acción política” (Latour, 1984 en Haraway, 1991, p. 283).

En una revisión documental de las investigaciones reportadas en el estado del conocimiento del COMIE del período 2012-2021 y en algunas ponencias presentadas en el XVII y XVIII Congreso Nacional de Investigación Educativa (COMIE) de 2021 y 2023 fue interesante ubicar temas de investigación relacionados con las TIC, Inteligencia Artificial (IA) e IAGen, en donde encontré aportaciones relevantes.

En relación con el tema de apropiación de las TIC, Almaraz (2023) realizó la investigación “Apropiación de las TIC por los estudiantes de doctorado en educación: un estudio a partir de las narrativas digitales” con el objetivo de comprender los procesos de apropiación de las TIC en un grupo de estudiantes de doctorado en educación en Durango. Entre sus resultados menciona que la apropiación es desigual, en donde no se puede definir un único proceso de apropiación, sino que es diverso, dado que depende del contexto temporal, geográfico, histórico y cultural.

También la investigación teórica de carácter documental “Revisión conceptual de la categoría teórica brecha digital: posibilidades de exploración de las desigualdades digitales en los usos de tecnologías digitales” llevada a cabo por Guerrero, et al. (2023) en la Facultad de Filosofía y Letras (FFyL) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), aporta al análisis tres niveles –accesos, usos y oportunidades de vida–. Dimensiones que para la presente investigación son relevantes.

El tema de la Inteligencia Artificial (IA) ha sido investigado por Trejo (2023) quien realizó la investigación “El relato de la IA en la educación. Un análisis de textos de divulgación en México”, en el Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educación (IISUE) de la UNAM. Se plantea que los relatos sociales desempeñan un papel fundamental en la construcción de concepciones acerca de los fenómenos sociales, y los medios de comunicación, dado que juegan un papel crucial en este proceso.

Asimismo, Rebolledo y Rivera (2023) realizaron la investigación cuantitativa “Usos y percepciones de las herramientas de Inteligencia Artificial en la educación superior: Matices

entre el estudiantado y el profesorado” en la Universidad Iberoamericana. Se da cuenta de las formas en que el profesorado y el estudiantado entienden e implementan dichos recursos. Se pretende generar líneas estratégicas a nivel institucional que permitan establecer líneas de formación para el aprovechamiento de estos recursos tecnológicos para la mejora de la educación.

Estas investigaciones, permiten reconocer que el tema de la IA y de la IAGen se encuentra en desarrollo en el campo de la investigación educativa, particularmente es todavía escasa, desde la perspectiva de género.

METODOLOGÍA

Desde la perspectiva del APD, es necesario asumir el carácter situado de la investigación educativa, en donde las interpretaciones que desde esta perspectiva se realizan, no son la verdad infalible y absoluta sino un conocimiento que puede ser válido para el contexto específico en donde se desarrolla la presente investigación, ante ciertas preguntas y a partir de las fuentes específicas de información y los procesos analíticos e interpretativo (Buenfil, 2011) que han sido desarrollados a partir de categorías analíticas.

Para dar respuesta científica a la pregunta central de investigación que plantea ¿Cuáles son las significaciones que construyen las estudiantes de un doctorado en educación durante los procesos de uso y apropiación de la IAGen durante el desarrollo de sus investigación-intervención? Se consideró que la investigación cualitativa e interpretativa era la más pertinente.

El enfoque de investigación cualitativa, de carácter fenomenológica, posibilita construir un marco comprensivo (Mayz, 2009) y es una posibilidad de “encarar el mundo” (Taylor y Bogdan, 1990, p. 20), para pensar la realidad social, educativa y para desarrollar investigaciones en relación con la vida de las personas, sus discursos y los fenómenos culturales. En la primera fase de la investigación de diagnóstico exploratorio, se consideró pertinente llevar a cabo las siguientes cuatro etapas.

Etapas de Búsqueda. La indagación exploratoria de quiénes son las estudiantes inscritas en el semestre 2025-1 que inició en el mes de febrero de 2025 en el doctorado en educación en modalidad virtual en Querétaro para invitarlas a participar en la investigación. Como un recorte metodológico, se consideraron solamente a las estudiantes que tenían avances de investigación y habían participado en los coloquios doctorales en el año de 2024. Se ubicaron a 15 estudiantes del tercer y quinto semestre, por lo que fue necesario iniciar un proceso de búsqueda de los datos de contacto para entrar en comunicación con ellas, vía correo electrónico. El apoyo de la Coordinación del doctorado fue de gran aporte.

Etapas de Identificación. Consistió en el envío de la invitación a 15 estudiantes mujeres por correo electrónico y que en el mes de mayo de 2025 estaban estudiando el tercer o quinto semestre del doctorado, explicando los objetivos de la inves-

tigación, de un cuestionario con preguntas cerradas y abiertas (Google Forms) que permitiera construir un primer acercamiento y la solicitud de firmar el consentimiento informado de participación, en caso de aceptar participar. En el cuestionario se solicitaron algunos datos generales (el semestre que cursaban, la edad, los estudios de licenciatura y de maestría, las instituciones educativas en donde los realizaron, el tema de investigación-intervención doctoral para tratar de comprender quiénes eran las mujeres participantes en la investigación). También se plantearon preguntas en relación a: i) Si hacían o no uso de la IAGen en su investigación doctoral y el por qué; ii) cuáles eran las herramientas que utilizaban; iii) en qué les apoyan en su investigación; iv) los obstáculos para el acceso y el uso de la IAGen; y v) una pregunta más abierta, en donde se les preguntó qué otra información, podrían aportar en relación al uso y apropiación de la IAGen durante su investigación-intervención doctoral.

Etapas de Organización. A partir de la información proporcionada por cinco estudiantes se organizó una matriz de organización y ordenación de los significados y sentidos construidos. Para guardar el anonimato, se asignó un número de acuerdo con el orden como fueron registrando sus respuestas en el cuestionario de Google Forms que se les envió por correo electrónico. Es importante mencionar que tal vez ante la conclusión del semestre no todas aceptaron participar, no obstante que se les envió en dos ocasiones el correo solicitando su apoyo, se decidió ya no insistir respetando su decisión. En investigación cualitativa no se pretende una representatividad estadística, sino la profundidad y riqueza de información en relación de un fenómeno específico, por lo que se consideró viable la participación de cinco estudiantes, que posibilitó obtener los primeros datos durante este primer acercamiento.

Etapas de Análisis e interpretación. Se realizó el proceso analítico-interpretativo, a partir de las relaciones entre los diferentes significados y los sentidos de la IAGen, lo que permitió dar respuesta a las preguntas de investigación de manera inicial. Es importante señalar que el proceso de la investigación no se concluye aquí, porque forma parte de un primer contacto inicial que permitió construir un diagnóstico exploratorio para generar confianza y ante todo comprender el contexto.

Es importante mencionar que estas etapas de la investigación, no se realizaron de manera mecánica, ya que implicó un proceso no lineal sino como un proceso en espiral y dialéctico. El análisis e interpretación de los datos posibilitó fijar significaciones relevantes a partir de categorías analíticas. Lo que permitió comparar, relacionar y organizar las significaciones y sentidos en los discursos de las estudiantes, que se presentan a continuación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Lo analítico e interpretativo en esta primera fase es entendido como un proceso que posibilita la comprensión de la vida social y el mundo (Mayz, 2009), donde el contexto

social e histórico cobra importancia para comprender los significados que construyen las estudiantes en su estar siendo doctoras en educación en proceso de formación. Desde el APD se plantea que la identidad no es fija y de una vez para siempre.

“El ser está siendo [porque] el sujeto se constituye constantemente, que adquiere o deja y se constituye por diversos polos identitarios y eso es lo que lo constituye en lo que es, en un momento particular de la historia, de su historia en un tiempo y espacio particular” (Navarrete, 2015, p. 467).

Aquí se presentan los resultados únicamente de las mujeres que así lo manifiestan en su identidad de género y que aceptaron participar en la investigación. Se utiliza el término género porque el género alude a lo social, a una construcción histórico-social y no se utiliza el término sexo, porque tiene una connotación biológica.

Como se mencionó, desde la perspectiva del APD, el discurso está relacionado tanto con lo lingüístico y como con lo extralingüístico, aquí se enfatizan algunos aspectos lingüísticos del discurso, de manera particular se enfoca en los enunciados textuales-escritos (Fair, 2019). Al respecto desde la teoría de la enunciación es importante no solo “lo enunciado (lo que se enuncia) [sino también] la enunciación (cómo y desde qué posición se enuncia) (Fair, 2019, p. 54). Lo extralingüístico alude a las prácticas que desarrollan las estudiantes durante su investigación doctoral.

Quiénes son las mujeres que estudian un doctorado en educación en modalidad virtual en Querétaro

Es importante conocer la trayectoria de las estudiantes, para situar y conocer no solo lo que enuncian sino desde dónde construyen la enunciación. Interesan no solo las experiencias personales, sino también cómo desde el ser mujeres y estudiantes de un doctorado en educación en modalidad virtual en Querétaro y desde sus diferentes polos identitarios construyen los discursos y los sentidos del uso de la IA y la IAGen.

Son tres estudiantes de tercer semestre y dos de quinto; su promedio de edad es de 41 años (34, 43, 44 y 53 años) cada una de ellas tiene condiciones distintas de vida (profesional, laboral, familiar, etcétera) que les ha posibilitado realizar sus estudios doctorales en modalidad virtual en Querétaro.

Realizaron sus estudios de licenciatura (psicología; pedagogía; educación especial; lenguas modernas en español; y nutrición) todas en instituciones de educación superior pública: UNAM); Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ); Instituto Politécnico Nacional (IPN); e Instituto Michoacano de Ciencias de la Educación (IMCED).

Asimismo, sus estudios de maestría son en educación con especialidad en innovación de la práctica docente; estudios sociales y culturales; innovación educativa; educación; y literatura contemporánea de México y América Latina, principalmente en instituciones de educación superior públicas: Universidad Virtual del Estado de Guanajuato (UVEG); Universidad de Guanajuato (UG); Instituto de Estudios Superiores para Profesionales (IESPE); Universidad Interamericana para el Desarrollo (UNID); y UAQ).

En la actualidad, también son tesis y desarrollan una investigación-intervención educativa en temas relacionadas con i) estudiantes (autorregulación en estudiantes universitarios de la modalidad en línea; y multiliteracidad para la formación en investigación educativa con estudiantes normalistas); ii) formación docente (en ambientes multimodales para atender a niñas/os con discapacidad; y escritura creativa para alumnas/os de educación primaria), y iii) alimentación saludable y sostenible (desarrollo de un recurso educativo).

Como puede observarse no es un grupo homogéneo, cada una ha construido una historia personal y una trayectoria académica distinta, e incluso sus intereses en temas de investigación son diversos, en donde buscan construir conocimientos y propuestas de intervención con incidencia social.

Uso de herramientas IA-IAGen en el desarrollo de su investigación doctoral

Todas las estudiantes encuestadas afirman que sí hacen uso de la IA en su investigación-intervención educativa. Es para apoyarse en la “búsqueda de artículos relacionados a mi tema, para resumir algunos artículos, parafraseo y redacción de la información” (E1); “porque me facilitan el trabajo y me amplían panoramas diversos” (E3). Hay quienes afirman que las utilizan algunas veces “por ser una herramienta que agiliza la comprensión de conceptos” (E4) y porque “sirven para hacer mapas o esquemas visuales. Me sugiere investigaciones sobre algún tema en específico” (E5). Y una de las estudiantes expresa que la utiliza pocas veces “principalmente, en asistentes virtuales para apoyarme en la redacción o en dudas” (E2).

Como puede observarse las estudiantes utilizan las herramientas de IA porque les permite realizar búsquedas de artículos y realizar su resumen. También para ampliar el panorama en relación con sus temas de investigación, para llevar a cabo búsquedas de investigaciones realizadas por pares, para la comprensión de conceptos y aclaración de dudas.

El tiempo es un factor común para apoyarse en el uso de herramientas tecnológicas como la IAS y la IAGen, porque no solo son estudiantes, sino también son docentes, pareja, mamás, hijas, hermanas, etcétera, en donde cumplen también otras responsabilidades. Por otro lado, es importante tener presente que las instituciones educativas establecen un tiempo perentorio para la conclusión de su investigación doctoral y concluir la elaboración de su tesis.

Asimismo, utilizan estas herramientas para llevar a cabo actividades de redacción y parafraseo (E2, E3) que tiene ver con la escritura académica. En los estudios de posgrado se demanda la escritura de discursos académicos con un manejo de la lengua escrita, en donde se desarrollen ideas y con discursos argumentativos (Hernández, 2024). Al respecto el investigador argumenta la importancia de la escritura académica para la construcción de una identidad:

“(…) la escritura académica es un medio para pasar del caos al orden, y esto es un rasgo no solo del discurso sino del conocimiento científico en sí. Explicar algo en términos científicos o académicos significa convertir el caos del mundo real (donde todo existe simultáneamente y sin jerarquías) en un orden lógico, donde son claras las relaciones y las jerarquías conceptuales (p.137).

La lectura y escritura académica son centrales en la formación universitaria en el doctorado. Es importante preguntarse desde el pensamiento bourdiano ¿cuál es el capital cultural que han construido las estudiantes? Aún falta profundizar en este aspecto, por medio de una entrevista, porque tal vez sean las primeras de su familia que han logrado incorporarse a los estudios universitarios y a nivel de doctorado.

El tema de la escritura académica también permite comprender la importancia de investigar con relación a los conflictos y los procesos cognitivos (Hernández, 2024) a los que se enfrentan durante la realización de su investigación doctoral, en donde construyen también una identidad como doctoras en educación en proceso de formación.

Las estudiantes utilizan la IA y la IAGen en su investigación doctoral principalmente para la búsqueda de artículos que tienen relación con su tema y para resumirlos (E1), para agilizar la comprensión de conceptos y teorías (E4), para obtener información (E3), también para solventar dudas (E2), identificar fuentes de consulta (E4) así como para la generación imágenes (E1), para hacer mapas o esquemas visuales (E5) y para apoyarles en la redacción el parafraseo (E1, E2), relacionarse con otros estudiantes y conocer otros puntos de vista (E3).

Herramientas de IA-IAGen que son utilizadas, obstáculos para el acceso y uso

La perspectiva sociocultural posibilita hacer la distinción entre disponibilidad y acceso (Kalman, 2003). La disponibilidad se refiere a la infraestructura, a las condiciones materiales que existen en las instituciones, como es el servicio de internet. El acceso refiere a las oportunidades de conocer, hacer uso de las herramientas tecnológicas y para participar en eventos académicos donde las estudiantes se posicionan frente a otras y frente a otros, como plantea la investigadora, como parte de sus interacciones sociales y del mundo académico.

La mayoría de las estudiantes señalan que las herramientas de IA y IAGen que utilizan son Research Rabbit, Gemini AI, ChatGPT, Sci-space (E1); Gemini, ChatGPT “para la búsqueda de información [y] generación de imágenes” (E4) y Napking, ChatGPT (E5). Las más utilizadas son ChatGPT y Gemini.

Quienes no mencionan el nombre de estas tecnologías, si afirman que de “IA [utilizan] los asistentes virtuales, reconocimiento de voz o texto (...) de IA Generativa no tengo mucho conocimiento” (E2); mientras que otra estudiante utiliza “traductores, programas de presentaciones, asistentes virtuales, redes sociales, etc.” (E3).

El obstáculo más reiterado es la falta de conocimiento de estas tecnologías “mi conocimiento para aplicar la IA en la investigación y en el desarrollo de la tesis es deficiente, es decir, nunca he tenido un acercamiento directo o profundo, es superficial y a partir de la curiosidad” (E2); el “poco conocimiento que tengo sobre la misma” (E3); y la “limitada información respecto a su potencial positivo, y la escasa capacitación para un uso académico correcto” (E4).

Ante este obstáculo se expresa el interés por cubrir esta carencia “tengo como meta conocer más” (E2) y se plantea “necesito conocer más sobre su uso y funcionamiento” (E3). Es importante tener presente la capacidad de agencia de las mujeres para enfrentar obstáculos y atender sus necesidades. También cabe resaltar que existe el mito que las mujeres jóvenes tienen más conocimiento en el uso de herramientas tecnológicas, pero en las respuestas obtenidas se enuncian dificultades de diverso tipo. No es un problema de edadismo, sino de acceso.

Otro de los obstáculos es el económico ya que algunas de estas herramientas “son de paga y en el caso de ChatGPT y Gemini la información proporcionada no siempre es acertada por lo que hay que corroborarla” (E1). Se reconoce que la información siempre hay que confirmarla, es una responsabilidad, que sí se asume para desarrollar prácticas autónomas.

Destaca que en pleno siglo XXI se reconoce que todavía hay problemas para el acceso al internet; así lo afirma una estudiante “El acceso a internet en mi centro de trabajo” (E5). Es una manera de manifestar su rechazo ante una manifestación de desigualdad ante el no acceso a este servicio o dificultades de conexión aún en zonas urbanas. Una tarea pendiente es investigar cómo viven esta problemática las estudiantes de zonas indígenas o rurales en Querétaro.

Aportaciones y puntos de vista sobre el uso de herramientas de la IA e IAGen en el desarrollo de la investigación educativa

Se considera que en el uso de estas herramientas pueden ser censuradas, porque “puede ser polémico en opinión de algunas personas ya que se percibe como a quien lo usa como alguien que busca hacer las cosas de manera fácil o sin esfuerzo” (E1), pero la estudiante considera que “se deben aprovechar y enseñar de manera ética y profesional ya que su uso puede optimizar muchos procesos tediosos” (E1). Considero que se debe reconocer la capacidad de agencia de las estudiantes y su compromiso para tomar decisiones en relación con su investigación, de no ser objeto de censura. Hay un interés manifiesto por ser responsables en el uso ético de estas herramientas tecnológicas.

Como parte del análisis e interpretación de los resultados obtenidos se entiende que la IA y las IAGen son significadas como “un gran complemento que puede ayudar a desarrollar muchos procesos (obviamente sin delegar todo) evitando así un estrés innecesario; fomentando así una mayor motivación, guía y acceso a la información” (E1).

Se propone que en este doctorado en educación en modalidad virtual en Querétaro “estaría bien que se incluyera en alguna asignatura para poder contar con bases sólidas y confiables en la aplicación durante la investigación. Ya que, en lo personal, a veces las dudas o el miedo en si estoy haciendo el uso correcto, es evitar caer en el plagio” (E2). Se demanda que haya difusión de información sobre el tema porque “ha sido algunas de las limitaciones para el uso en la investigación doctoral” (E2).

En los discursos de las estudiantes se expresa miedo, temor de realizar prácticas no éticas, como es el plagio o uso indebido y que es sancionado socialmente, aunque no sea su intención de realizarlas ante el desconocimiento en el uso de estas herramientas tecnológicas.

En este punto es importante la reiteración del mito de la brecha generacional en el uso de la IA y de la IAGen. Al respecto se considera que “los docentes que no crecimos en el mundo virtual necesitamos actualizarnos para obtener al máximo las ventajas del uso de este tipo de herramientas, pues quizás las usamos, pero no explotamos todo lo que pudiéramos por falta de conocimiento” (E3) y se requiere “sensibilización y formación en el tema” (E4).

Las estudiantes forman parte de diferentes grupos de edad, la mayoría coincide en plantear demandas de formación en relación con el conocimiento y uso de la IA y de la IAGen que les apoye en su investigación doctoral. Plantean su preocupación por desarrollar prácticas éticas en el uso de estas herramientas tecnológicas y no llevar a cabo prácticas de plagio. Existen dudas, miedos en su uso. Hay demandas de solicitud de apoyo e incluso se plantea la duda ¿Cómo las IA pueden favorecer los procesos de aprendizaje y de investigación? (E5).

¿Cómo apoyar para que las estudiantes que desarrollan su investigación doctoral sean protagonistas activas de su formación? Uno de los retos es desarrollar habilidades de investigación y habilidades en uso de herramientas tecnológicas, como puede ser el uso de las herramientas de IA e IAGen. Es necesario comprender “su funcionamiento, usos y limitaciones para imaginar formas de apropiación críticas” (CEIDE, 2025, p. 19).

Ahora bien, resulta común que las estudiantes tengan dificultades de cómo buscar información en bases de datos académicas reconocidas y tener acceso a publicaciones como pueden ser libros, artículos y revistas especializadas en relación con su tema de investigación. Hay buscadores académicos diversos como pueden ser ERIC, Scielo, Redalyc o bien buscar en Tesoros, a partir de palabras o términos especializados en educación, como puede ser el Tesoro Europeo de la Educación, o de la UNESCO, Tesoro ERIC, que permiten la búsqueda de información. Es importante que las estudiantes lleven a cabo búsquedas de información de manera crítica, para que estén en posibilidad de tomar decisiones.

El encuentro de la IAGen, la educación y la investigación es importante, pero se requiere formación en investigación, dudar de la información que se obtiene por medio

de esta herramienta tecnológica, porque puede ser insuficiente, poco fidedigna, errónea, falta o bien con sesgos (Trejo, 2023). Cobra importancia debatir cómo usar estas plataformas y la enseñanza para que las estudiantes la usen, pero con protección de sus datos personales y realicen prácticas de uso éticas. Las estudiantes son responsables de su investigación y así lo asumen.

Se reconoce que desarrollar investigación educativa implica múltiples retos, uno de ellos es “ampliar el repertorio de técnicas e instrumentos basados en las nuevas tecnologías, incluyendo los alcances de la inteligencia artificial sin demeritar el juicio crítico y la acción razonada de los y los investigadores educativos” (De la Cruz et al., 2023, p. 1294).

En términos generales en los resultados preliminares de la investigación en curso, las estudiantes reconocen que se enfrentan a retos en el uso de la IAG para desarrollar su investigación-intervención. Uno de ellos es el sesgo cognitivo, cuando señalan que la información que obtienen no siempre es veraz, pero asumen la responsabilidad de verificarla. También demandan las estudiantes formación y conocimiento para hacer uso de estas herramientas tecnológicas, para no estar en una condición de desventaja, porque además existe el problema económico que algunos modelos de IAGen son de paga.

Es importante también destacar que aquí se presentan los primeros resultados a partir de un instrumento de investigación que es un cuestionario semiestructurado que posibilitó la construcción de un primer diagnóstico. En una segunda fase de la investigación que inició en el mes de noviembre de 2025 se está realizando una entrevista semiestructurada con las estudiantes participantes de la investigación, con el propósito de profundizar en la construcción de los datos que posibiliten dar respuesta a las preguntas y objetivos de la investigación.

Una vez que se concluya el trabajo de campo y se tenga la información registrada, se procederá al análisis e interpretación de los datos para su triangulación (cuestionario-entrevista semiestructurada) y estar en posibilidad de la obtención de resultados y conclusiones de la investigación.

CONCLUSIONES

La primera fase de la presente investigación, es un primer acercamiento a los discursos de estudiantes mujeres de un doctorado en educación en modalidad virtual en Querétaro, con el propósito de contribuir en el conocimiento de las prácticas educativas que se desarrollan con el uso o no de herramientas tecnológicas. Todas las estudiantes desarrollan prácticas de uso de la IAGen para realizar su investigación-intervención educativa, para ser doctoras en educación, en donde se reconocen las posibilidades, limitaciones y riesgos en su uso, así como la necesidad de formarse y conocer sobre el tema para no realizar prácticas que socialmente son sancionadas, como es el plagio. Es lo que les genera, miedo, preocupación y conflicto.

Todas las estudiantes reconocen que la IAGen es una herramienta que les apoya en la realización de tareas de indagación para el desarrollo de su investigación. No es

una práctica individual sino es una práctica social y política, porque toman decisiones y se hacen responsables de sus acciones.

Es necesario continuar investigando en esta línea, desde una analítica interdisciplinaria como lo plantea el APD para que sean las estudiantes quienes desde sus propias prácticas discursivas construyan los sentidos del uso o no de estas herramientas tecnológicas. Porque considero que, como investigadora, es un reto comprender los sentidos que las propias mujeres les dan a sus actos durante su proceso de ser doctoras en educación en proceso de formación.

A partir de las investigaciones consultadas, se puede afirmar que son escasas las investigaciones que se enfocan al uso de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de las prácticas de investigación educativa a nivel doctoral desde una perspectiva de género.

Desde la perspectiva del APD pueden considerarse que las prácticas de investigación educativas como prácticas discursivas, dado que son sociales y políticas. Una de las tareas pendientes es analizar la diseminación de la IAGen que llevan a cabo las estudiantes conforme avancen en su investigación doctoral para conocer cómo las adoptan o no durante su formación doctoral.

Llama la atención que en los discursos de las estudiantes no se aluda al tema de la protección de datos, como un tema sensible que es importante también considerar durante el uso de estas tecnologías, porque son herramientas con potencialidades, pero al mismo con riesgos y sesgos. Lo que sí se reconoce en sus discursos es la desconfianza en la veracidad de la información que se puede obtener.

La problematización ética en las prácticas de uso de la IAGen en los procesos de realización de investigación educativa es un tema de suma importancia que es necesario profundizar por medio de una entrevista. Por otro lado, también es importante la revisión de las políticas educativas de las universidades en relación con su posicionamiento respecto a la regulación del uso o no de la IAGen tareas de investigación, docencia, extensión y difusión. Se reconoce que este tema es polémico y sujeto a debate no solamente al interior de las instituciones educativo sino también en el ámbito de lo social.

La IAGen es utilizada por algunas estudiantes como apoyo no solo para la realización de su investigación sino también para la redacción de sus textos académicos, en este caso su tesis doctoral. Al respecto es importante considerar que el discurso académico es intertextual, es un discurso polifónico, donde intervienen múltiples voces que usualmente es difícil estructurar (Hernández, 2024).

Se identifica al menos tres tipos de voces:

1. la voz de los autores que escribieron antes sobre nuestras disciplinas y temas;
2. las voces de los sujetos que investigamos cuando hacemos entrevistas y observaciones de campo, y
3. la voz propia del escritor [o escritora], que investiga y reporta sus hallazgos en forma de reseña, ensayo, monografía, artículo, etc. (p. 139).

El investigador plantea la importancia de una escritura académica, que no sea impersonal, sino que se realice en primera persona, en singular, que exprese "un pienso que", que alude a una estudiante que "se está convirtiendo en especialista de pregrado o posgrado, que piensa, habla, lee y escribe con y desde el lenguaje y las ideas de [los/las] especialistas" (Hernández, 2024, p. 140), porque el conocimiento no comienza de cero sino que recupera las voces de otras

y otros investigadores, teóricos/teóricas que nos permiten construir conocimiento contextual, situado e histórico para construir una voz propia como plantea el autor.

Consideramos que las teorías feministas latinoamericanas y la producida en el país, pueden aportar a enriquecer la investigación a futuro, en comprender y reconocer lo que para estas estudiantes mujeres es significativo su proyecto de vida académica y personal, para ser doctoras en educación.

REFERENCIAS

- Almaraz, O. (2023). Apropiación de las TIC por los estudiantes de doctorado en educación: un estudio a partir de las narrativas digitales. En: *XVII Congreso de Investigación Educativa. Memoria electrónica* (Appropriation of ICTs by doctoral students in education: a study based on digital narratives. In: XVII Congress of Educational Research. Electronic Proceedings). COMIE. <https://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v17/doc/1914.pdf>
- Barone Zalloco, O. y Capasso, V. (2024). Conversaciones pedagógicas y políticas educativas entre (contra)visualidades y prácticas. Entrevista a Inés Dussel (Pedagogical conversations and educational policies between (counter)visualities and practices. Interview with Inés Dussel). *Sociohistóricas* (53), e230. <https://doi.org/10.24215/18521606e230>
- Buenfil, R.N. (2011). *Apuntes sobre los usos de la teoría en la investigación social. Consideraciones metodológicas en investigación social* (Notes on the uses of theory in social research. Methodological considerations in social research) Editorial Académica Española.
- Buenfil, R.N. (2019). *Ernesto Laclau y la investigación educativa en Latinoamérica. Implicaciones y apropiaciones del análisis político del discurso* (Ernesto Laclau and educational research in Latin America: Implications and appropriations of political discourse analysis). CLACSO <https://www.clacso.org/ernesto-laclau-y-la-investigacion-educativa-en-latinoamerica/>
- Centro de Investigaciones y Estudios para el Desarrollo de la Educación (CEIDE) (2025). *La Inteligencia Artificial Generativa (IAGEN) en el profesorado y estudiantado de la UNAM. Retos y prospectivas* (Generative Artificial Intelligence (IAGEN) in the teaching and student body of UNAM. Challenges and prospects). CEIDE-Secretaría General UNAM. https://www.ceide.unam.mx/wp-content/uploads/2025/08/IAGen_UNAM_2025.pdf
- De la Cruz, G., Cuevas, J., y Gallardo, A. (2023). Trazos para el COMIE del futuro desde el presente. Retos y tensiones de la investigación educativa / Outlines for the COMIE of the future from the present. Challenges and tensions of educational research). *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 28(99), 1291-1309. <https://ojs.rmie.mx/index.php/rmie/article/view/40/39>
- Dussel, I. y Castro, B. (2024). La cultura digital: Avances, silencios y desafíos de un campo en construcción. En A. Ramírez & A. Escudero (Coords.). *Estados del Conocimiento Tecnologías de la Información y de la Comunicación en la Educación* [Digital culture: Advances, silences, and challenges of a field under construction. In A. Ramírez & A. Escudero (Eds.). State of Knowledge: Information and Communication Technologies in Education] (Volumen 3) (pp. 378-425).
- Fair, H. (2019). Análisis Político del Discurso e investigación empírica: herramientas teóricas y estrategias metodológicas para estudiar identidades y procesos políticos desde América Latina (Political Discourse Analysis and Empirical Research: Theoretical Tools and Methodological Strategies for Studying Identities and Political Processes from Latin America). *Ciencia Política*, 14(27), 47-90. <https://doi.org/10.51385/ic.v1i18.193>
- Frias, L. (19 de noviembre de 2024). La era digital y la tecnología seguirán definiendo el desarrollo educativo (The digital age and technology will continue to define educational development). *Gaceta UNAM*, (5), 19. <https://cecv.unam.mx/la-era-digital-y-la-tecnologia-seguiran-definiendo-el-desarrollo-educativo/>
- Granja Castro, J. (1996). *Los saberes sobre la escuela mexicana en el Siglo XIX. Un análisis sobre las formaciones conceptuales en educación* (Knowledge about Mexican schools in the 19th century: An analysis of conceptual frameworks in education) [Tesis de Doctorado, Universidad Iberoamericana].
- Guerrero, I., Fernández, E. y Graterol, G. (2023). Revisión conceptual de la categoría teórica brecha digital: Posibilidades de exploración de las desigualdades digitales en los usos de tecnologías digitales. En *Memoria electrónica del XVII Congreso Nacional de Investigación Educativa* (Conceptual review of the theoretical category of digital divide: Possibilities for exploring digital inequalities in the use of digital technologies. In Electronic Proceedings of the XVII National Congress of Educational Research) Consejo Mexicano de Investigación Educativa (COMIE). <https://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v17/doc/2395.pdf>
- Haraway, D. (1991). *Ciencia, ciborgs y mujeres. La reinención de la naturaleza* (Science, cyborgs, and women. The reinvention of nature). Ediciones Cátedra. https://monoskop.org/images/e/eb/Haraway_Donna_J_Ciencia_cyborgs_y_mujeres_La_reinencion_de_la_naturaleza.pdf
- Hernández, G. (2024). Escribir en la universidad: Dilemas entre lo académico, lo político y lo pedagógico. En G. Hutchinson & A. Torres (Eds.). *Buscando las palabras. While writing: Conversations between writing centers in Latin America and the U.S.* [Writing at university: Dilemmas between the academic, the political, and the pedagogical. In G. Hutchinson & A. Torres (Eds.). *Searching for the words. While writing: Conversations between writing centers in Latin America and the U.S.*]. Pontificia Universidad Javeriana.
- Kalman, J. (2003). El acceso a la cultura escrita: la participación social y la apropiación de conocimientos en eventos cotidiano de lectura y escritura (Access to written culture: social participation and the appropriation of knowledge in everyday reading and writing events). *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 8(17), 37-66. <https://www.redalyc.org/pdf/140/14001704.pdf>

- Laclau E. y Mouffe, C. (1987). *Hegemonía y estrategia socialista. Hacia una radicalización de la democracia* (Hegemony and socialist strategy. Towards a radicalization of democracy). Siglo XXI. https://docs.enriquedussel.com/txt/Textos_200_Obras/Aime_zapatistas/Hegemonia_estrategia-Ernesto_Laclau.pdf
- Mayz, C. (2009). ¿Cómo desarrollar, de una manera comprensiva, el análisis cualitativo de los datos? (How to develop a comprehensive qualitative analysis of data?). *Educere*, 13(44), 55-66. <https://www.redalyc.org/pdf/356/35614571007.pdf>
- Navarrete, Z. (2015). ¿Otra vez la identidad? Un concepto necesario pero imposible (Identity again? A necessary but impossible concept). *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 20(65), 461-479. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662015000200007
- Rendón, V., Dávila Aranda, P.D., Concha Cantú, H.A., Rubio Pérez, T.H., Martínez Ruiz, D.T., Macedo Chagolla, F., Aguilar Tamayo, R.A. y Blazquez Graf, N. (2025). *La Inteligencia Artificial Generativa (IAGEN) en el profesorado y estudiantado de la UNAM. Retos y prospectivas* [Generative Artificial Intelligence (IAGEN) in the teaching and student body of UNAM. Challenges and prospects]. UNAM. https://www.ceide.unam.mx/wp-content/uploads/2025/08/IAGen_UNAM_2025.pdf
- Rebolledo, C. y Rivera, M. (2023). Usos y percepciones de las herramientas de Inteligencia Artificial en la educación superior: Matices entre el estudiantado y el profesorado. En: *Memoria Electrónica del XVII Congreso Nacional de Investigación Educativa* (Uses and perceptions of Artificial Intelligence tools in higher education: Nuances between students and faculty. In: Electronic Proceedings of the XVII National Congress of Educational Research) <https://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v17/doc/0277.pdf>
- Taylor, S.J. y Bogdan, R. (1990). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados* (Introduction to qualitative research methods. The search for meaning). Paidós.
- Trejo, J. (2023). El relato de la IA en la educación. Un análisis de textos de divulgación en México. En: *Memoria Electrónica del XVII Congreso Nacional de Investigación Educativa* (The narrative of AI in education. An analysis of popular science texts in Mexico. In: Electronic Proceedings of the XVII National Congress of Educational Research). <https://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v17/doc/1693.pdf>
- Van Dijk, J. (2019). *The Digital Divide*. Polity Press. https://www.researchgate.net/publication/336775102_The_Digital_Divide

Género y uso de IA generativa en la educación superior universitaria

Jeny Haideé Espinosa Barajas; Dora María Lladó Lárraga; Teresa de Jesús Guzmán Acuña; Josefina Guzmán Acuña

RESUMEN

El estudio analiza la percepción sobre el conocimiento, uso, beneficios y desafíos de la inteligencia artificial (IA) generativa entre hombres y mujeres en diferentes roles en la Universidad Autónoma de Tamaulipas. El objetivo fue identificar cómo el género y el rol influyen en la apropiación de esta tecnología en el contexto de la brecha digital de género, derivado de la preocupación sobre la desigualdad en el acceso y uso de tecnologías y formación en STEM. Se utilizó un enfoque cuantitativo, no experimental, con diseño descriptivo y correlacional. La muestra incluyó 173 participantes, que respondieron una encuesta alineada con la UNESCO. Se aplicó la prueba chi-cuadrada para examinar relaciones significativas entre género y uso de IA. Los resultados indican que el 90.1 % de las personas encuestadas conoce la IA generativa; las mujeres estudiantes y administrativas mostraron mayor familiaridad. Sin embargo, los hombres docentes, reportaron mayor frecuencia de uso. Entre los beneficios destacaron el ahorro de tiempo y la mejora en la calidad del trabajo; los desafíos fueron técnicos y relacionados con la privacidad. Finalmente, aunque no se encontraron diferencias significativas, el género y el rol influyen en el uso de IA, evidenciando la necesidad de políticas inclusivas universitarias en educación digital.

Palabras clave: brecha digital de género, inteligencia artificial generativa, políticas educativas de inclusión digital.

Cómo citar: Espinosa, J., Lladó, D., Guzmán, T., Guzmán, J. (2026). Género y uso de IA generativa en la educación superior universitaria. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto2>

Gender and use of generative AI in university higher education

ABSTRACT

The study analyzes the perception of knowledge, use, benefits, and challenges of generative artificial intelligence (AI) among men and women in different roles at the Autonomous University of Tamaulipas. The objective was to identify how gender and role influence the appropriation of this technology in the context of the gender digital divide, derived from concerns about inequality in access to and use of technologies and training in STEM. A quantitative, non-experimental approach was used, with a descriptive and correlational design. The sample included 173 participants, who responded to a survey aligned with UNESCO guidelines. The chi-square test was applied to examine significant relationships between gender and AI use. The results indicate that 90.1 % of respondents are familiar with generative AI; female students and administrative staff showed greater familiarity. However, male faculty reported a higher frequency of use. Among the benefits, time savings and improved work quality stood out; the challenges were technical issues and privacy-related concerns. Finally, although no significant differences were found, gender and role influence AI use, highlighting the need for inclusive university policies in digital education.

Keywords: gender digital divide; generative artificial intelligence; inclusive digital education policies.

INTRODUCCIÓN

Ampliar las oportunidades de participación de las mujeres y las niñas en las disciplinas de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés de Science, Technology, Engineering and Mathematics), incluidas las áreas relacionadas con las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), como la inteligencia artificial (IA), es una prioridad de las políticas educativas en el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2022).

En el escenario global, las niñas y las mujeres se enfrentan a la falta de conectividad a internet y de habilidades digitales. Esto, como resultado de la falta de educación o de normas sociales o culturales que llevan a la discriminación de las niñas y las mujeres en la sociedad digital, sobre todo en los países árabes, africanos y de Asia y el Pacífico. En México, por ejemplo, hay un alto porcentaje de personas con acceso a internet, pero las niñas y las mujeres tienden a usar menos servicios que los niños y los hombres porque tienen menos confianza o desconocimiento en usar la red (Collett et al., 2022).

Aunque las habilidades digitales pueden hacer una gran diferencia en las oportunidades de las niñas y las mujeres, como el crecimiento de sus carreras y aumentos salariales, la brecha de género de conectividad y habilidades digitales disminuye su oportunidad de adquirir nuevos conocimientos que son necesarios para prosperar en la vida laboral. Esta situación se ve intensificada por la transformación del mercado impulsada por la IA, que exige nuevas formas de alfabetización digital y habilidades emergentes.

En este escenario, es esencial promover la participación activa de las mujeres en los campos STEM y en las tecnologías vinculadas a la IA, respondiendo a la creciente demanda de profesionales con capacidades adaptadas a los desafíos del futuro (Collett et al., 2022).

Investigaciones como la de Cervera et al. (2024) y la de Guzmán Gómez (2025) plantean que la brecha digital se manifiesta no solo en el acceso, sino también en el uso y aprovechamiento de las tecnologías. En consecuencia, la capacidad de las mujeres de adaptarse a la innovación tecnológica y las habilidades digitales en sistemas de IA será crucial para su éxito profesional.

Entre las soluciones de mayor relevancia, se identifica la necesidad de implementar políticas que mejoren el conocimiento, el desarrollo de las perspectivas de carrera en situaciones de igualdad, la empleabilidad y el crecimiento profesional de todas las niñas y mujeres en la era de la IA (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO, 2022).

Ello es consistente con los planteamientos de Flores-Vivar y García-Peñalvo (2023), quienes a su vez señalan que la UNESCO, a través del objetivo de desarrollo sostenible (ODS) 4, ha establecido como prioridad la necesidad de garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad, promoviendo oportunidades de aprendizaje a lo largo de la vida para todos. En este marco, las tecnologías digitales y, particularmente, la IA desempeñan un papel estratégico para innovar las prácticas pedagógicas y acelerar el cumplimiento del objetivo (Miao et al., 2021).

La IA no solo permite transformar los modelos educativos tradicionales, sino que también ofrece nuevas experiencias de aprendizaje que pueden beneficiar tanto al estudiantado como al personal docente, con lo cual se contribuye a una educación más equitativa e inclusiva (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2019).

No obstante, para aprovechar de forma plena este potencial, es fundamental que las políticas educativas aborden de manera decidida las brechas tecnológicas entre géneros, combatan los estereotipos y corrijan los sesgos excluyentes hacia las mujeres en los entornos digitales (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2022).

Estudios recientes demuestran que las mujeres representan solo el 18 % en la enseñanza de la IA y que más del 80 % son hombres (Collett et al., 2022).

Por ello, resulta necesario ampliar la investigación en IA, en especial en el diseño de sistemas, su funcionalidad y los impactos sociales y culturales que generan. Este enfoque investigativo puede contribuir a reducir las desigualdades globales en el conocimiento sobre IA, considerando la diversidad de contextos nacionales y regionales.

En paralelo, resulta fundamental replantear los roles de las mujeres en este entorno, promoviendo su acceso a conocimientos y habilidades esenciales para interactuar eficazmente con la IA y visibilizándolas como profesionales clave en el desarrollo tecnológico (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2022; Miao y Cukurova, 2025; Miao et al., 2025).

Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue analizar la percepción que tienen, en la Universidad Autónoma de Tamaulipas, las mujeres y los hombres en su rol de docentes, estudiantes y personal administrativo sobre su nivel de conocimiento, uso, beneficios y desafíos en IA, con especial énfasis en su impacto en las mujeres universitarias.

MARCO TEÓRICO

Existen conceptos fundamentales que requieren una explicación más precisa: por un lado, el referente al género y, por otro, el relacionado con la IA. No obstante, si no se reconoce ni se aborda previamente la brecha digital, resulta inviable lograr una participación equitativa en el uso de la IA. De este modo, la limitada conectividad, el acceso restringido a dispositivos y la falta de habilidades digitales básicas impiden que amplios sectores de la población consigan algún tipo de contacto inicial con estas tecnologías emergentes.

Por lo que respecta al concepto de género, este ha evolucionado hasta convertirse en una categoría central para el análisis de las relaciones sociales y las desigualdades estructurales. En la IV Conferencia Mundial sobre la Mujer en Beijing (Organización de las Naciones Unidas, 1995), se formalizó la comprensión del género como una construcción social dinámica que asigna funciones a hombres y mujeres según condicionantes económicos, políticos y

culturales, distinguiéndose del sexo biológico y subrayando que el género es una categoría política y cultural mutable que influye profundamente en la organización social. En consistencia con esta idea, Office of the Special Advisor on Gender Issues and Advancement of Women (2001) se refiere al género como al conjunto de atributos sociales, roles, comportamientos y oportunidades construidos culturalmente y asignados a las personas según su sexo. Estas construcciones sociales son aprendidas a través de la socialización, varían con el tiempo y el contexto, y determinan lo que se considera apropiado, esperado y valorado en hombres y mujeres.

Desde esta perspectiva, Morales Sánchez (2011) destaca que cada sociedad genera normas, ideas y obligaciones que reproducen diferencias de género a través de instituciones como la familia, los medios o las religiones. Estas diferencias dan lugar a brechas estructurales, como la desigualdad salarial, la distribución desigual del trabajo de cuidados o el acceso limitado a la toma de decisiones.

Es así que, la persistencia de estereotipos de género, que asocian a los hombres con la competitividad y el individualismo, y a las mujeres con la cooperación y el cuidado, refuerza estas desigualdades. Estos estereotipos son simplificaciones que perpetúan por un lado roles rígidos a la vez que limitan las posibilidades individuales y colectivas de desarrollo.

Ahora bien, si se reconocen estas dinámicas, la igualdad de género ha sido reconocida como un objetivo prioritario en la Agenda 2030, particularmente en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 5 (ODS 5). Este objetivo plantea que la equidad entre hombres y mujeres no solo es un derecho humano fundamental, sino un requisito indispensable para un desarrollo justo y sostenible. De hecho, las políticas públicas y los programas que incorporan un enfoque de género contribuyen no solo a reducir brechas, sino también a garantizar que los beneficios del desarrollo lleguen a todas las personas por igual (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en México, 2023).

La brecha digital, en su dimensión de acceso, uso y aprovechamiento de las TIC, tiene una fuerte correlación con la perspectiva de género, dado que no solo las mujeres y los hombres enfrentan diferentes niveles de acceso a la tecnología, sino que también existen disparidades significativas en la forma en que cada grupo puede utilizarla de manera efectiva. Resultan interesantes los planteamientos de Doneys et al. (2022), quienes señalan que la brecha de género, en el contexto de la tecnología, es particularmente persistente y amplia, “fundamentalmente impregnadas de poder patriarcal, especialmente en términos de cómo la masculinidad misma se define por las relaciones de los hombres con las tecnologías y su control sobre ellas” (p. 286).

La investigación de Casadei (2024) enfatiza que no basta con tener acceso a los espacios digitales; la permanencia en ellos, con la capacidad de interacción, autonomía y formación, es esencial. Aquí, las mujeres, especialmente en contextos de desigualdad de género, enfrentan desafíos adicionales. Las mujeres en muchas regiones tienen menos

acceso a dispositivos digitales y, cuando tienen acceso, suelen enfrentarse a mayores limitaciones en términos de habilidades tecnológicas y autonomía en el uso de estas herramientas. Esta falta de autonomía también está vinculada a los roles tradicionales de género que, en muchos casos, las relegan a espacios privados y limitan su acceso a recursos educativos y laborales en línea.

A su vez, Lugo y Barrera Rojas (2024) destacan cómo la brecha de participación digital está profundamente relacionada con el capitalismo cognitivo (CC) y la sociedad de la información (SIC), especialmente en la adopción y el uso de la IA. Este marco también resalta las disparidades de género, ya que las mujeres están subrepresentadas en áreas tecnológicas y de innovación. Tal condición perpetúa su marginación en el desarrollo de nuevas tecnologías y servicios digitales.

Por otro lado, la investigación de De la Peña y Acosta (2025) señala que los grupos vulnerables, entre los cuales las mujeres ocupan un lugar notable, enfrentan desigualdad tecnológica debido a la falta de habilidades digitales necesarias para utilizar las TIC. Esta brecha no solo se traduce en dificultades para acceder a la información, sino también en limitaciones para participar plenamente en la sociedad digital, lo cual agrava aún más la desigualdad de género.

Finalmente, el estudio de Covarrubias-Díaz-Couder et al. (2022) sobre las estrategias de las y los docentes para reducir la brecha digital durante la pandemia muestra cómo, en contextos educativos, las estrategias tecnológicas pueden ayudar a mitigar algunas desigualdades. Sin embargo, a menudo son las mujeres, especialmente aquellas en zonas rurales o con menos recursos, las que enfrentan mayores barreras para acceder a formación y apoyo en tecnología.

En resumen, las investigaciones mencionadas muestran que la brecha digital no solo se presenta en términos de acceso, sino también en la capacidad para interactuar, aprender y utilizar la tecnología de manera autónoma. Las desigualdades de género en este contexto se reflejan en el acceso restringido de las mujeres a las TIC, en su subrepresentación en campos tecnológicos avanzados como la IA y en las barreras sociales y culturales que dificultan su plena participación en la sociedad digital.

Por lo que respecta al concepto de IA, algunos autores como Barrios Tao et al. (2020) y Ferrante (2021) advierten que existen diversas definiciones y formas de entenderla. Ello es resultado de la incorporación paulatina de la IA en múltiples ámbitos disciplinares a través de los años.

De manera específica, Flores-Vivar y García-Peñalvo (2023) indican que el estudio de la IA se realiza desde el campo de la informática, al desarrollar sistemas o programas que permitan identificar e imitar las competencias cognitivas de los seres humanos. Es el caso de la IA generativa, que tiene el propósito de crear contenido original en formato de texto, imagen, código o sonido mediante un lenguaje natural, a través de diversas aplicaciones como ChatGPT, DALL-E, Copilot, entre otras.

Así también, Flores-Vivar y García-Peñalvo (2023), Aguirre Sala (2022) y Xianhong et al. (2021) destacan que la IA

se basa en tecnologías de procesamiento de información que utilizan modelos matemáticos y algoritmos capaces de aprender, ejecutar e imitar tareas cognitivas similares a la inteligencia humana, incluyendo particularidades como el razonamiento, la percepción, el aprendizaje y la predicción, la resolución de problemas y la interacción por lenguaje, tareas tradicionalmente realizadas por humanos y que se van modificando gracias al aprendizaje de la integración de nueva información.

En este contexto, la irrupción de la IA supone una oportunidad sin precedentes, pero también plantea riesgos significativos si no se aborda desde una perspectiva de género. La IA está transformando la forma en que se trabaja, aprende y vive. Sin embargo, no aprende en un vacío: se entrena con datos generados por sociedades marcadas por décadas de desigualdad. Si estos datos contienen sesgos, estereotipos o exclusiones, los sistemas de IA replicarán y amplificarán esas desigualdades en sus decisiones y resultados (ONU Mujeres, 2025).

El problema no radica únicamente en quién utiliza la IA, sino en quién la diseña y con qué perspectiva. Actualmente, las mujeres representan solo el 35 % del personal en empresas tecnológicas en EE.UU., sin embargo, la falta de participación femenina en el desarrollo de IA raramente se reconoce como un problema. Esta subrepresentación de mujeres en el área de la tecnología profundiza un sesgo de origen: si quienes crean los algoritmos provienen de contextos homogéneos o carecen de una conciencia crítica sobre género y diversidad, se corre el riesgo de que la IA perpetúe y automatice las desigualdades existentes (Romei y Strauss, 2024).

Ahora bien, solo una IA consciente de los contextos sociales de los que aprende podrá contribuir a cerrar brechas digitales y de género, evitar discriminaciones automatizadas y generar oportunidades equitativas.

MÉTODO

Para conocer la percepción que tienen docentes, estudiantes y personal administrativo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas sobre el uso, los beneficios y los desafíos en IA y el impacto que en ello tiene el género, se diseñó una investigación con enfoque cuantitativo, no experimental con alcance correlacional (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

Conforme a los estudios existentes en torno a la brecha digital, usos de IA y género, se partió del supuesto de que las mujeres tienen menor acceso a la IA y, por ello, tienen menos uso y presentan mayores desafíos que los hombres.

Para corroborar este supuesto se eligieron sujetos universitarios con rol de docentes, estudiantes; así como personal administrativo, los cuales participaron en un curso de IA generativa impartido durante el periodo escolar de primavera 2025 (enero-mayo), por lo cual se efectuó un muestreo no probabilístico por conveniencia, quedando la muestra de 173. Se optó por dicho muestreo debido a la accesibilidad de las y los participantes y la pertinencia del curso como espacio de formación en IA. Aunque esta estrategia restringe la capacidad

de generalizar los hallazgos a toda la comunidad universitaria, permite explorar tendencias iniciales y generar hipótesis para estudios posteriores con muestras más amplias y representativas. Además, para reducir el sesgo derivado del interés previo en la IA, se incluyeron perfiles provenientes de distintas áreas académicas y administrativas (estudiantes, docentes y administrativos), con la finalidad de ampliar la heterogeneidad de la muestra y fortalecer la diversidad de perspectivas analizadas.

Previo al inicio del curso, se aplicó una encuesta digital, diseñada a través de un formulario de Microsoft 365, cuyas categorías estuvieron basadas en lo estipulado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2022) y Collett et al. (2022) tales como datos generales, conocimiento y frecuencia de uso de la IA, beneficios y tipo de uso, y desafíos (Tabla 1).

El instrumento se validó con 3 jueces, quienes evaluaron la coherencia, la claridad y la relevancia de los ítems con base en una escala Likert de 5 valores, en la cual se asume 1 como inaceptable y 5 es excelente; se aplicó el coeficiente de validez de conocimiento de Hernández-Nieto (2002), cuyo resultado global de instrumento fue de 0.89, lo cual arrojó una buena validez y concordancia.

El análisis de la información se realizó por medio de las puntuaciones de las variables de cada categoría: frecuencias y porcentajes. Además, se aplicó la prueba chi cuadrado independiente (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018), para

Tabla 1.

Categorías, variables e indicadores para el diseño del instrumento

DATOS GENERALES		ÍTEMS
Datos de identificación	Género, rol en la universidad	¿Cuál es su género? ¿Cuál es su rol en la universidad?
CONOCIMIENTO Y FRECUENCIA DE USO DE LA IA		ÍTEMS
Conocimiento de IA	Familiaridad con el concepto de la IA	¿Está familiarizado(a) con el concepto de IA?
Frecuencia de uso de la IA	Uso de la IA, frecuencia de uso de la IA	¿Ha utilizado alguna herramienta de IA generativa (por ejemplo, ChatGPT, DALL-E, Copilot) en su trabajo o estudios? ¿Con qué frecuencia utiliza estas herramientas?
BENEFICIOS Y TIPO DE USO		ÍTEMS
Tipo de uso	Actividades realizadas	¿Para qué actividades ha utilizado la IA generativa?
Tipo de beneficios	Beneficios obtenidos	¿Qué beneficios ha observado al utilizar la IA generativa en su trabajo o estudios?
DESAFÍOS		ÍTEMS
Desafíos en el uso de la IA	Presencia de las limitaciones	¿Ha encontrado algún desafío o limitación al utilizar la IA generativa?

determinar qué tan significativo es el género en el uso, la frecuencia y los desafíos a los que se enfrentan docentes estudiantes y administrativos en la universidad.

RESULTADOS

Este apartado integra un conjunto de tablas organizadas sobre la base de las categorías del estudio: a) datos generales, b) conocimiento y frecuencia de uso de la IA, c) beneficios y tipo de uso, y d) desafíos a los que se enfrentan las y los universitarios al usar la IA.

a. Datos generales

La mayoría de las personas que respondieron al instrumento se identificaron con el género femenino (Tabla 2).

En cuanto a la distribución de roles entre las personas encuestadas, se contó con la participación de 83 docentes (48 %), de los cuales el 47 % son mujeres; 49 estudiantes (28.3 %), con una representación femenina del 78 %, y 41 integrantes del personal administrativo (23.7 %), entre quienes el 54 % son mujeres (Tabla 3).

b. Conocimiento y frecuencia de usos de la IA

Las personas encuestadas fueron consultadas en relación con su familiaridad con el concepto de la IA. De ellas,

Tabla 2.

Género

GÉNERO	CANTIDAD	%
Femenino	99	57.2
Masculino	74	42.8
Total	173	100.0

156 (90.1 %) respondieron afirmativamente. Dentro de este grupo, 88 (56.5 %) son mujeres y 68 (43.5 %) hombres. Al desagregar los datos por rol, se observa que entre los 73 docentes que conocen la IA, el 43.8 % son mujeres y el 56.2 % hombres; en el grupo de estudiantes (47), las mujeres representan el 78.7 % y los hombres el 21.3 %, mientras que

Tabla 3.

Rol en la universidad por género

ROLES	GÉNERO FEMENINO	GÉNERO MASCULINO	TOTAL	%
Docentes	39	44	83	48.0
Estudiantes	38	11	49	28.3
Personal Administrativo	22	19	41	23.7
Total	99	74	173	100.0

en el personal administrativo (36), el 52.7 % corresponde a mujeres y el 47.3 % a hombres.

Del grupo que no está familiarizado con el concepto de la IA, conformado por 17 personas (9.9 % del total), el 65 % son mujeres. Según el rol que desempeñan, se identifican 10 docentes, de los cuales el 70 % son mujeres; 2 estudiantes, uno de cada género; por último, 5 integrantes del personal administrativo, entre quienes el 60 % corresponde al género femenino. Al aplicar la prueba de chi cuadrado de independencia, el resultado obtenido fue de 0.60399095; entonces, como $0.603 > 0.05$, no hay evidencia estadísticamente significativa, por lo que el conocimiento de la IA no depende del género según los datos analizados. La información se detalla en la Tabla 4.

Del total de personas que han utilizado herramientas de IA generativa (150, equivalentes al 86.7 %), el 57.3% son mujeres. Al desagregar por roles, se observa que, entre el cuerpo docente, 72 de 83 personas (86.7 %) han hecho uso de estas herramientas, siendo el 54.1 % hombres; en el caso del estudiantado, 46 han utilizado IA, de las cuales el 78 % son mujeres; mientras que, en el personal administrativo, 32 han hecho uso de la IA y, de ellos, poco más del 50 % corresponde al género femenino. La prueba de chi cuadrado de independencia arrojó como resultado 0.655676394;

Tabla 4.
Conocimiento sobre IA por género y rol

Rol	Femenino		Masculino		Total	%
	Sí	No	Sí	No		
Docentes	32	7	41	3	83	48.0
Estudiantes	37	1	10	1	49	28.3
Personal Administrativo	19	3	17	2	41	23.7
Total	88	11	68	6	173	100.0

entonces, como $0.604 > 0.05$, no hay evidencia estadísticamente significativa, por lo que el uso de la IA no depende del género según los datos analizados (Tabla 5).

Al indagar sobre la frecuencia de uso de la IA generativa, se observa una tendencia notable cuando el uso es más intensivo, es decir, diario o semanal, dado que predomina la participación masculina.

En contraste, a medida que la frecuencia disminuye (mensual o esporádica), se incrementa significativamente la participación de mujeres. Esta distribución sugiere posibles diferencias en los niveles de apropiación tecnológica y en las condiciones que favorecen o limitan el uso sostenido de estas herramientas.

Al analizar la frecuencia del uso de la IA con relación al rol que desempeñan los sujetos en la universidad, se ve que, en docentes y personal administrativo, la tendencia es mayor en hombres; pero, en el caso del estudiantado, la cantidad

de mujeres que usan la IA diaria o semanalmente es mayor que la de hombres. El resultado de chi cuadrado independiente, 0.08097484, significa que, como $0.080 > 0.05$, no hay evidencia estadísticamente significativa, por lo que la frecuencia de uso de IA no depende del género, según los datos analizados (Tabla 6).

Tabla 5.
Uso de IA generativa (ChatGPT, DALL-E, Copilot, entre otras) en su trabajo o estudios

Rol	Femenino		Masculino	
	Sí	No	Sí	No
Docentes	33	6	39	5
Estudiantes	36	2	10	1
Personal Administrativo	17	5	15	4
Total	86	13	64	10

c. Beneficios y tipo de uso

De las 150 personas que utilizan la IA generativa, el 52.6 % la emplean para redacción de textos, el 23.3 % para investigación y análisis de datos, el 13.3 % para crear imágenes y la menor parte, 10.6 %, en el proceso de enseñanza-aprendizaje. En el uso de la IA para redacción de textos, no se observan diferencias significativas entre hombres y mujeres, ya que la participación es bastante homogénea entre ambos géneros (40 y 39, respectivamente). Sin embargo, al analizar por rol, se destaca un mayor uso entre docentes, especial-

Tabla 6.
Frecuencia del uso de IA generativa

Rol	Diariamente		Semanalmente		Mensualmente		Raramente	
	F	M	F	M	F	M	F	M
Docentes	3	11	11	17	6	5	13	6
Estudiantes	6	1	11	3	2	0	17	6
Personal Administrativo	3	5	4	6	5	1	5	3
Total	12	17	26	26	13	6	35	15

Nota. F (Femenino) M (Masculino)

mente del género masculino, seguido por las estudiantes mujeres. En cambio, el uso entre el personal administrativo es considerablemente menor y, entre estos sujetos, no hay diferencia en el género.

En cuanto al uso de la IA para investigación y análisis de datos, hay una mayor participación de mujeres (21) en comparación con hombres (14). Al desagregar por rol, los docentes hombres son quienes más emplean la IA en esta

actividad (9 frente a 6 mujeres); entre los estudiantes, la diferencia es más marcada a favor de las mujeres (10 frente a 1), y en el personal administrativo, también predominan ligeramente las mujeres (5 frente a 4 hombres).

En el caso del uso de IA para asistencia en el proceso de enseñanza-aprendizaje, las mujeres docentes (12) superan claramente a los hombres (3) en esta aplicación. Esta función se concentra exclusivamente en el rol de los docentes del género femenino, sin participación destacada de estudiantes ni personal administrativo.

Por último, en la creación de imágenes con IA, el uso es mayor en mujeres (13) que en hombres (7). Desde la perspectiva del rol, esta actividad se realiza principalmente por estudiantes, en su mayoría mujeres, más que por docentes o personal administrativo.

El resultado de chi cuadrado independiente, 0.287289127, significa que, como $0.287 > 0.05$, no hay evidencia estadísticamente significativa, por lo que las actividades para las que los sujetos usan la IA no dependen del género, según los datos analizados. La información se muestra en la Tabla 7.

Los resultados revelan que quienes utilizan IA generativa identifican tres beneficios principales. El más mencionado es el ahorro de tiempo, señalado por 110 de las 150 personas encuestadas (73.3 %). En segundo lugar, se ubica la mejora en la calidad del trabajo (16.6 %) y, en tercer lugar, el impulso a la creatividad (10 %).

Al analizar estos beneficios por género y rol, se observa que el ahorro de tiempo es especialmente valorado por el personal docente, particularmente los hombres (32 de 51), así como por las estudiantes mujeres (29) y por el personal

Tabla 7.
Principal actividad para la que utilizan la IA generativa

Descripción	Rol	Femenino	Masculino	Total
Investigación y análisis de datos (35)	Docente	6	9	15
	Estudiante	10	1	11
	Personal administrativo	5	4	9
Asistencia en la enseñanza/aprendizaje (16)	Docente	12	3	15
	Estudiante	0	1	1
	Personal administrativo	0	0	0
Redacción de textos (79)	Docente	12	22	34
	Estudiante	19	8	27
	Personal administrativo	9	9	18
Creación de imágenes (20)	Docente	3	5	8
	Estudiante	7	0	7
	Personal administrativo	3	2	5

administrativo masculino (12). En cuanto a la mejora en la calidad del trabajo, la percepción positiva proviene mayoritariamente de las mujeres, independientemente de su rol (18 mujeres frente a 7 hombres). De manera similar, el beneficio asociado a la creatividad fue destacado principalmente por mujeres (11 frente a 4 hombres), lo que podría reflejar una mayor sensibilidad de este grupo hacia el potencial creativo que ofrecen estas herramientas (Tabla 8).

El resultado de la prueba de chi cuadrado marca error al aplicarse, por lo que no hay una relación entre el género y los beneficios que reportan los sujetos sobre el uso de la IA.

d. Desafíos a los que se enfrentan las y los universitarios al usar la IA generativa

Entre los principales desafíos identificados en el uso de la IA generativa se encuentran: la dificultad para comprender su funcionamiento (33.3 %), la percepción de resultados poco fiables (24 %), la preocupación por la privacidad de los datos (21.3 %) y, en igual proporción, quienes no reportan haber enfrentado desafíos (21.3 %).

Al analizar estos obstáculos por rol y género, se observa que, entre quienes manifiestan desconocimiento sobre

Tabla 8.
Beneficios del uso de la IA generativa

Descripción	Rol	Femenino	Masculino
Investigación y análisis de datos (35)	Docente	19	32
	Estudiante	29	9
	Personal administrativo	9	12
Asistencia en la enseñanza/aprendizaje (16)	Docente	8	5
	Estudiante	2	1
	Personal administrativo	8	1
Redacción de textos (79)	Docente	6	2
	Estudiante	5	0
	Personal administrativo	0	2

su uso, predomina el profesorado (27), siendo 17 de ellos hombres. En los grupos de estudiantes y administrativos, la mayoría de quienes reportan dificultades para entender la herramienta son mujeres. La percepción de información poco confiable es más frecuente entre docentes (17), mayormente hombres (13) y estudiantes mujeres (13), mientras que la preocupación por la privacidad de los datos es señalada principalmente por mujeres en todos los roles: docentes, estudiantes y personal administrativo. En este último grupo, la percepción se distribuye de manera equitativa, con 4 mujeres y 4 hombres (Tabla 9).

El resultado de la prueba de chi cuadrado fue de 0.58605208, por lo que, como $0.586 > 0.05$, no hay evidencia estadísticamente significativa, por lo que los desafíos identificados por los sujetos sobre la IA no dependen del género, según los datos analizados.

DISCUSIÓN

Los resultados demuestran que son más las mujeres familiarizadas con la IA y que usan ChatGPT, DALL-E y Copilot; asimismo, sobresale su participación en actividades relacionadas con la redacción de textos, investigación y análisis de datos, creación de imágenes y en la asistencia de la IA en la enseñanza-aprendizaje, aunque la frecuencia del uso de IA es más espaciada en relación con los hombres. Asimismo, ellas advierten que los principales beneficios son la mejora en la calidad de su trabajo y su creatividad; de los obstáculos o

Tabla 9.
Desafíos del uso de la IA generativa

Descripción	Rol	Femenino	Masculino
Dificultad para entender cómo usarla (50)	Docente	10	17
	Estudiante	9	3
	Personal administrativo	9	2
Preocupación sobre la privacidad de los datos (32)	Docente	14	5
	Estudiante	4	1
	Personal administrativo	4	4
Resultados inexactos o poco fiables (36)	Docente	4	13
	Estudiante	13	3
	Personal administrativo	0	3
Ninguno (32)	Docente	5	4
	Estudiante	10	3
	Personal administrativo	4	6

desafíos identificados por ellas son la dificultad para entender cómo usarla y la preocupación por la privacidad de los datos. Con ello, se advierte que las propuestas de Doney et al. (2022) y de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2022) sobre la reducción de la brecha de género en el contexto de la tecnología se han venido atendiendo, al verse mayor participación de mujeres en uso de IA generativa; y que, aun y cuando las mujeres están subrepresentadas en áreas tecnológicas y de innovación (Lugo y Barrera Rojas, 2024), se observan avances interesantes en el sistema universitario, coincidiendo con las aportaciones de Covarrubias-Díaz-Couder et al. (2023), quienes señalan que, en contextos educativos, se pueden mitigar algunas desigualdades en torno a la brecha digital.

Ahora bien, los resultados relativos al rol que desempeñan los sujetos de estudio en la universidad muestran otra realidad, dado que, del grupo de las y los docentes, es un poco mayor el número de hombres que usan la IA, lo hacen con mayor frecuencia para redacción de textos, investigación y análisis de datos y creación de imágenes, y consideran que el mayor beneficio es el ahorro del tiempo. Las docentes

destacan en el uso del proceso de enseñanza-aprendizaje, y de los desafíos identificados manifiestan el desconocimiento sobre su uso y los resultados poco fiables. Del grupo de estudiantes, son mayoría mujeres que usan la IA con mayor frecuencia para redacción de textos, investigación y análisis de datos y creación de imágenes y consideran que un gran beneficio es el ahorro del tiempo; sus preocupaciones son relativas a la dificultad para entender su uso, la desconfianza en la privacidad de datos y en la fiabilidad de la información. Y, del personal administrativo, la mayoría son mujeres usando IA, con dificultad para entender su uso.

Finalmente, es necesario enfatizar que, si bien el resultado de la prueba de chi cuadrado demuestra que no hay diferencias significativas relativas al género, se reconoce que, si la IA generativa es uno de los mecanismos para transformar e innovar las prácticas pedagógicas, acorde a lo establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2019) y Xianhong et al. (2021), faltaría mayor presencia de las mujeres docentes usando IA, dado que, en palabras de Cervera et al. (2024) y Guzmán Gómez (2025), procurar el uso de IA favorecería el éxito profesional de las mujeres y una mayor contribución hacia el logro de una educación más equitativa e inclusiva.

CONCLUSIONES

A pesar de que las mujeres muestran una participación creciente en el uso de herramientas de IA generativa en el ámbito universitario, persisten profundas brechas en los roles de docencia y liderazgo, donde predominan los hombres. Esta disparidad refleja una estructura desigual más amplia que corre el riesgo de replicarse y amplificarse si no se interviene de manera decidida. La incorporación de la IA en el contexto educativo debería reducir la brecha de género en STEM, en lugar de aumentarla.

Es urgente que gobiernos, instituciones educativas y actores de las escuelas se comprometan a no perpetuar los estereotipos de género ni trasladar sesgos discriminatorios a los sistemas de IA. En su lugar, deben detectarlos y corregirlos de forma anticipada, reconociendo el efecto negativo que pueden generar las brechas tecnológicas al entrelazarse con las desigualdades estructurales de género.

En este contexto, si bien ya se tienen propuestas sobre el uso ético de la IA centrada en derechos humanos, y sobre la promoción de políticas que integren activamente en la igualdad de género, se constata que en la práctica aún persisten desafíos significativos para su implementación efectiva en el ámbito de la educación superior. Como resultado, las brechas en representación docente, los sesgos en los datos que alimentan los sistemas inteligentes, así como la falta de participación activa de mujeres son algunos de los factores que obstaculizan ese avance.

Pese a que la brecha entre mujeres y hombres en las tareas tecnológicas se puede estar reduciendo, es necesario hacer más para impedir que las mujeres se sigan quedando atrás.

Por ello, resulta determinante traducir esas propuestas en acciones concretas: impulsar marcos institucionales que garanticen procesos inclusivos en STEM, fortalecer la formación ética y digital del profesorado con perspectiva de género, y fomentar una gobernanza participativa de la IA en

las universidades con especial énfasis en las mujeres. Solo así se podrá garantizar que la IA no mantenga desigualdades, sino que contribuya enérgicamente a construir espacios educativos más justos, equitativos y transformadores.

REFERENCIAS

- Aguirre Sala, J.F. (2022). Modelos y buenas prácticas evaluativas para detectar impactos, riesgos y daños de la inteligencia artificial. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 12(23), 1-20. <http://www.udgvirtual.udg.mx/paakat/index.php/paakat/article/view/742/pdf>
- Barrios Tao, H., Díaz Pérez, V. y Guerra, Y. (2020). Subjetividades e inteligencia artificial: desafíos para 'lo humano' (Subjectivities and Artificial Intelligence: Challenges for 'the Human'). *Veritas*, (47), 81-107. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-92732020000300081>
- Casadei, T. (2024). Brechas digitales: el reto de las nuevas tecnologías para los derechos humanos (Digital Divides: The Challenge of New Technologies for Human Rights). *Revista de la Facultad de Derecho de México*, 74(290), 149-177. <https://doi.org/10.22201/fder.24488933e.2024.290.90069>
- Cervera, M.C., Canto, J.C., Ojeda, R.N. (2024). Descifrando la brecha de género en la era digital (Deciphering the Gender Gap in the Digital Age). *Lúmina*, 25(2). <https://doi.org/10.30554/lumina.v25.n2.5076.2024>
- Collett, C., Neff, G., y Gomes, L.G. (2022). Los efectos de la IA en la vida laboral de las mujeres (The Effects of AI on Women's Working Lives). UNESCO, OCDE, BID. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380871>
- Covarrubias-Díaz-Couder, M.A., Gaytán-Alcalá, F., Vallejos-Parás, C., Gastelum-Acosta, C., Sanson de Bem, J., y Rendón-Fernández, M.R. (2022). Brecha digital en docentes universitarios lasallistas de América Latina durante la pandemia por COVID-19 (Digital Divide among Lasallian University Professors in Latin America during the COVID-19 Pandemic). *Revista de Educación Superior del Sur Global - RESUR*, (14), e2022n14a5. <https://doi.org/10.25087/resur14a5>
- De la Peña, I. J. y Acosta (2025). Determinantes de la brecha digital y estrategias para su reducción: Una revisión sistemática de la literatura (Determinants of the Digital Divide and Strategies for Its Reduction: A Systematic Literature Review). *CIENCIA ergo-sum*, 32(1), 1-26. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10113651>
- Doneys, P., Kusakabe, K., Wamboye, E.F., Elmhirst, R., Chib, A. y Chatterjee, J.S. (2022). Gender, technology and development: reflections on the past, and provocations for the future. *Gender, Technology and Development*, 26(3), 285-294. <https://doi.org/10.1080/09718524.2022.2153459>
- Ferrante, E. (2021). Inteligencia artificial y sesgos algorítmicos ¿Por qué deberían importarnos? (Artificial Intelligence and Algorithmic Biases: Why Should They Matter to Us?) *Revista Nueva Sociedad*, (294), 27-36. https://static.nuso.org/media/articulos/downloads/1.TC_Ferrante_294.pdf
- Flores-Vivar, J.M. y García-Peñalvo, F.J. (2023). Reflexiones sobre la ética, potencialidades y retos de la Inteligencia Artificial en el marco de la Educación de Calidad (ODS4) [Reflections on the Ethics, Potentialities, and Challenges of Artificial Intelligence within the Framework of Quality Education (SDG 4)]. *Comunicar* 31(74), 1-11. <https://doi.org/10.3916/C74-2023-03>
- Guzmán Gómez, M.E. (2025). Inteligencia Artificial y equidad de género. Una perspectiva histórica de los sesgos culturales y su impacto en la relación humana con las tecnologías de la información y comunicación (Artificial Intelligence and Gender Equality: A Historical Perspective on Cultural Biases and Their Impact on the Human Relationship with Information and Communication Technologies). *Sintaxis*, 8(14), 14-30. <https://doi.org/10.36105/stx.2025n14.02>
- Hernández-Nieto, R.A. (2002). *Contribuciones Al Análisis Estadístico de Datos: Sensibilidad (Estabilidad y Consistencia) de Varios Coeficientes de Variabilidad Relativa y el Coeficiente de Variación Proporcional (Cvp), el Coeficiente de Validez de Contenido (Cvc) y el Coeficiente Kapp* (Contributions to Statistical Data Analysis: Sensitivity (Stability and Consistency) of Various Coefficients of Relative Variability and the Proportional Coefficient of Variation (CVP), the Content Validity Coefficient (CVC), and the Kappa Coefficient). CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza (2018). *Metodología de la investigación, las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Research Methodology: Quantitative, Qualitative, and Mixed Methods Approaches) McGraw-Hill Interamericana Editores.
- Lugo, L.J. y Barrera Rojas, M.Á. (2024). Actualización sobre el concepto de brecha digital en tiempos de la inteligencia artificial: hacia una propuesta cualitativa (Update on the Concept of the Digital Divide in Times of Artificial Intelligence: Toward a Qualitative Proposal). *Sintaxis*, 7(13), 49-78. <https://doi.org/10.36105/stx.2024n13.05>
- Miao, F. y Cukurova, M. (2025). *Marco de competencias para docentes en materia de IA*. (Framework of Competencies for Teachers in Artificial Intelligence). UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000393813>
- Miao, F., Holmes, W., Ronghuai, H. y Hui Z. (2021). *Inteligencia artificial y educación. Guía para las personas a cargo de formular políticas* (Artificial Intelligence and Education: Guidance for Policymakers). UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379376>
- Miao, F., Shiohira, K. y Lao, N. (2025). *Marco de competencias para estudiantes en materia de IA* (Framework of Competencies for Students in Artificial Intelligence). UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000393812>
- Morales Sánchez, J. (2011). *¿Qué es género? En Ciclo de conferencias con perspectiva de género* (What Is Gender? In Lecture Series with a Gender Perspective). UNAM. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/11/5398/4.pdf>
- Office of the Special Advisor on Gender Issues and Advancement of Women (2001). *Gender mainstreaming: strategy for promoting gender equality*. <https://www.un.org/womenwatch/osagi/pdf/factsheet1.pdf>
- ONU Mujeres (30 de junio de 2025). *Hoja de ruta para la igualdad de género: trabajo flexible, igualdad salarial y tecnología equitativa. Del trabajo de cuidados no remunerado y la igualdad salarial a los sesgos de la IA: tres medidas para impulsar*

- la igualdad* (Roadmap for Gender Equality: Flexible Work, Equal Pay, and Equitable Technology. From Unpaid Care Work and Equal Pay to AI Bias: Three Measures to Advance Equality). <https://www.unwomen.org/es/articulos/articulo-explicativo/hoja-de-ruta-para-la-igualdad-de-genero-trabajo-flexible-igualdad-salarial-y-tecnologia-equitativa>
- Organización de las Naciones Unidas (4-15 septiembre de 1995). *Informe de la Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer* (Report of the Fourth World Conference on Women). Beijing. <https://docs.un.org/es/A/CONF.177/20/Rev.1>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (16-18 May 2019). *Beijing Consensus on Artificial Intelligence and Education. International Conference on Artificial Intelligence and Education, Planning Education in the AI Era: Lead the Leap, Beijing*. [Documento final de programa o de reunión]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368303>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2022). *Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial* (Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence). <http://www.healthnet.unam.mx/afeipal/lecturas/EticaInteligenciaArtificial.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en México (2023). *Guía para la transversalización de la perspectiva de género en programas y proyectos de cooperación internacional para el desarrollo* (Guide for Mainstreaming the Gender Perspective in International Development Cooperation Programs and Projects). <https://pad.undp.org.mx/files/g/820dcf0c1242364677545293.44594fd/banco/archivo/340/0/guia-para-la-transversalizacion-de-la-perspectiva-de-genero-en-programas-y-proyectos-de-cooperacion-internacional-para-el-desarrollo.pdf>
- Romei, V., y Strauss, D. (Mar 3, 2024). *Gender gap in tech jobs narrows across advanced economies*. Financial Times. <https://www.ft.com/content/f37f3af3-2c3a-4082-84c3-e6fe7fe53252>
- Xianhong, H., Neupane, B., Echaiz, L., Sibal, P. y Rivera Lam, M. (2021). *El aporte de la inteligencia artificial y las TIC avanzadas a las sociedades del conocimiento: una perspectiva de derechos, apertura, acceso y múltiples actores* (The Contribution of Artificial Intelligence and Advanced ICTs to Knowledge Societies: A Perspective of Rights, Openness, Access, and Multiple Stakeholders). UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375796>

Género e inteligencia artificial en la educación en México: la realidad invisible

Urith Ramírez-Mera; Zulma Raquel Zeballos Pinto

RESUMEN

La integración de la inteligencia artificial (IA) en la educación mexicana es prometedora, pero opera replicando desigualdades estructurales históricas. Este estudio analiza críticamente la manifestación y reproducción de sesgos de género en herramientas de IA aplicadas en contextos educativos nacionales. Mediante una revisión de literatura entre los años 2020 y 2025 y un análisis cualitativo con lente interseccional, se examinaron cinco estudios clave. Los resultados identifican sesgos sistémicos en: 1) representaciones visuales que estereotipan e invisibilizan a las mujeres; 2) modelos predictivos con errores de clasificación basados en género, y 3) diseños tecnológicos que excluyen a las mujeres como usuarias y creadoras. Estos hallazgos tienen raíces en la falta de datos interseccionales, la subrepresentación femenina en el desarrollo tecnológico y el acceso digital desigual. La discusión subraya que estos sesgos no son meros errores técnicos, sino la manifestación de exclusiones históricas, cuyo impacto en la educación desalienta vocaciones y perpetúa estereotipos. Se concluye que la mitigación de este fenómeno exige un enfoque multidimensional que combine las políticas de datos con la perspectiva de género, el desarrollo de una IA con enfoque feminista e interseccional y la integración de una alfabetización algorítmica en la práctica pedagógica.

Palabras clave: sesgos algorítmicos, género, educación en México, inteligencia artificial, revisión de literatura.

Cómo citar: Ramírez-Mera, U., Zeballos, Z. (2026). Género e inteligencia artificial en la educación en México: la realidad invisible. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto3>

Gender and artificial intelligence in education in Mexico: the invisible reality

ABSTRACT

The integration of artificial intelligence (AI) in Mexican education is promising, but it operates by replicating historical structural inequalities. This study critically analyzes the manifestation and reproduction of gender biases in AI tools applied in national educational contexts. Through a literature review between 2020 and 2025 and a qualitative analysis with an intersectional lens, five key studies were examined. The results identify systemic biases in: 1) visual representations that stereotype and render women invisible; 2) predictive models with classification errors based on gender; and 3) technological designs that exclude women as users and creators. These findings have roots in the lack of intersectional data, the underrepresentation of women in technological development, and unequal digital access. The discussion underscores that these biases are not mere technical errors, but the manifestation of historical exclusions, whose impact on education discourages vocations and perpetuates stereotypes. It is concluded that mitigating this phenomenon requires a multidimensional approach that combines data policies with a gender perspective, the development of AI with a feminist and intersectional approach, and the integration of algorithmic literacy into pedagogical practice.

Keywords: algorithmic biases; gender; education in Mexico; artificial intelligence; literature review.

INTRODUCCIÓN

La expansión acelerada de la inteligencia artificial (IA) en los sistemas educativos ha inaugurado una etapa en la que las decisiones pedagógicas, administrativas e incluso afectivas circulan a través de arquitecturas algorítmicas que rara vez son transparentes y evaluadas. Bajo la apariencia de eficiencia y neutralidad, estos sistemas operan como engranajes que condensan historias de desigualdad, ausencias estructurales y formas de poder sedimentadas en los datos. Lejos de constituir simples herramientas técnicas, los algoritmos participan en la configuración cotidiana de oportunidades educativas, delimitando quién es escuchado, quién es visto y quién queda al margen. En este terreno movedizo, los sesgos algorítmicos emergen no como fallas excepcionales, sino como síntomas de un ecosistema sociotécnico que replica, amplifica o silencia identidades y trayectorias.

El ámbito educativo resulta especialmente vulnerable a estas dinámicas porque se entrelaza con procesos formativos que determinan futuros personales y colectivos. Desde sistemas de predicción del rendimiento académico hasta evaluadores automatizados de voz, imagen o texto, la IA es capaz de intervenir en decisiones de alto impacto sin ofrecer siempre mecanismos claros de auditoría o rendición de cuentas. Ello cobra especial relevancia cuando los algoritmos interactúan con marcadores sociales como el género, la etnia, la clase o la lengua, generando patrones de exclusión que pueden pasar inadvertidos precisamente por su carácter automatizado (Lozano-Mulet, 2025).

En América Latina, y particularmente en México, estas tensiones adquieren un matiz adicional. La región se encuentra atrapada entre la promesa transformadora de la IA y la persistencia de desigualdades estructurales que condicionan tanto su implementación como su evaluación (Ilbay, 2024); sin embargo, se manifiesta la necesidad de integrar esta tecnología al contexto educativo ante desafíos éticos y regulatorios. Al mismo tiempo, surge un impulso creciente por desarrollar perspectivas críticas, decoloniales y culturalmente situadas que cuestionan el rol del Sur Global como mero receptor de tecnologías foráneas. Desde esta perspectiva, tal como señalan Huesca y Fueyo Hernández (2025), analizar los sesgos algorítmicos en la educación mexicana implica no solo examinar el desempeño técnico de los modelos, sino también indagar cómo estos interactúan con estructuras históricas de desigualdad y con los imaginarios sociales que moldean qué cuerpos, voces y saberes son considerados legítimos.

El presente estudio se inscribe en este cruce de caminos. Busca iluminar las formas en que los sesgos, particularmente los asociados al género, se manifiestan, se reproducen o se refuerzan en el uso de herramientas de IA dentro de entornos educativos en México, que, si bien ha generado debates internacionales, en el contexto mexicano es necesario profundizar (Salcido Ledezma, 2024). Al hacerlo, procura nutrir un debate urgente: el de cómo diseñar, regular y enseñar con tecnologías que no solo respondan a estándares

técnicos, sino que también honren la diversidad, la justicia social y la autonomía de las personas aprendientes (Lozano-Mulet, 2025). En un país donde las brechas educativas y tecnológicas no son abstractas, sino palpables (Huesca y Fueyo Hernández, 2025), comprender y enfrentar los sesgos algorítmicos no constituye un lujo intelectual, sino una necesidad ética impostergable.

Sesgos algorítmicos en educación

Los sesgos algorítmicos, específicamente en el contexto educativo, se refieren a discriminaciones estructurales incorporadas en sistemas de IA que afectan desproporcionadamente a grupos específicos de estudiantes, pero también a otros actores educativos. Según Baker y Hawn (2022), estos sesgos se manifiestan cuando el rendimiento de un modelo es sustancialmente mejor o peor a través de grupos mutuamente excluyentes, reproduciendo y amplificando desigualdades estructurales existentes. De acuerdo con Suresh y Guttag (2020), se identifican seis dimensiones críticas:

1. **Sesgo histórico:** reproducción de decisiones discriminatorias pasadas en datos educativos.
2. **Sesgo de representación:** subrepresentación de grupos marginados en conjuntos de entrenamiento.
3. **Sesgo de medición:** variables que carecen de validez de constructo equitativa entre grupos.
4. **Sesgo de agregación:** modelos únicos inadecuados para poblaciones diversas.
5. **Sesgo de evaluación:** pruebas no representativas de poblaciones objetivo.
6. **Sesgo de despliegue:** uso de algoritmos en contextos no previstos.

Esta clasificación, que distingue entre los diferentes tipos de sesgos, permite reconocer el alcance de la IA dentro del contexto social y su caracterización como artefactos culturales que encarnan los valores y perspectivas de sus desarrolladores (Ferrero y Gewerc Barujel, 2019). debe destacarse que esta perspectiva rechaza la noción de neutralidad tecnológica y enfatiza cómo los sistemas educativos algorítmicos reflejan y refuerzan estructuras de poder existentes, lo cual es de relevancia crucial en esta investigación.

En concordancia con ello, autores como Kasun et al. (2024) introducen una crítica decolonial que cuestiona el epistemicidio del Sur Global en el desarrollo de IA educativa. Los mismos argumentan que la inclusión de conocimientos marginados no es solo cuestión de representación, sino de soberanía epistemológica (Huasca y Fueyo Hernández, 2025), donde el Sur Global debe transitar de consumidor a generador de IA.

Tabla 1.
Sesgos algorítmicos en IA

SESGO ALGORÍTMICO	DESCRIPCIÓN
Raza/etnia	Modelos de predicción de graduación con tasas más altas de falsos positivos para estudiantes blancos y falsos negativos para latinos (Anderson et al., 2019)
Género	Algoritmos de predicción de abandono con menor precisión para estudiantes masculinos (Gardner et al., 2019)
Nacionalidad	Sistemas de corrección automática que califican desigualmente según país de origen (Bridgeman et al., 2012)
Estatus socioeconómico	Modelos entrenados en contextos privilegiados con pobre generalización a entornos de bajos recursos
Discapacidades	Sistemas de reconocimiento de voz con precisión reducida para personas con impedimentos del habla (Loukina y Buzick, 2017)
Lengua Materna/Dialecto	Evaluaciones automáticas que penalizan variaciones dialectales

Por otro lado, los sesgos algorítmicos operan por medio de múltiples ejes de identidad simultáneos (raza, género, clase, capacidad, etc.). La investigación evidencia vacíos significativos en el análisis interseccional, particularmente para estudiantes no binarios, indígenas y otras identidades complejas (Tabla 1).

Si analizamos el impacto que tienen los algoritmos de la IA en el contexto educativo, es preciso reflexionar y colocar en tela de juicio los aspectos éticos y políticos que definen el uso de este tipo de tecnologías, reconocer a los beneficiarios y a los perjudicados por los algoritmos educativos e identificar en qué medida los sistemas algorítmicos limitan o expanden la autonomía de los aprendices.

Desde una perspectiva pedagógica, resulta necesario que exista una distinción entre tratamiento idéntico y tratamiento apropiado hacia el alumnado según necesidades específicas, es decir, evitar confundir equidad e igualdad, del mismo modo que es imperativo evitar suposiciones culturales incorporadas en lo que se considera “conocimiento válido”. Finalmente, la evaluación y los indicadores de desempeño también se enfrentan a tensión entre algoritmos para apoyo al aprendizaje y la toma de decisiones de alto impacto. Sin embargo, estos aspectos no son temas nuevos: los algoritmos educativos no crean sesgos nuevos, sino que automatizan y escalan discriminaciones históricas presentes en los datos y prácticas educativas tradicionales. La implementación acelerada de IA en educación, sin salvaguardas adecuadas, representa un riesgo existencial para la equidad educativa, particularmente para poblaciones históricamente marginadas.

Sin embargo, no todo está perdido. Cuando se diseñan conscientemente, los algoritmos educativos pueden detectar y corregir sesgos humanos, ofreciendo potencial para

sistemas más equitativos que los gestionados exclusivamente por personas. Para ello, es necesario replantear la competencia digital no solo entre el profesorado y el estudiantado, sino en los profesionales encargados del desarrollo de dichas tecnologías. La reflexión crítica es necesaria para reconocer el impacto “casi invisible” de los algoritmos en la reproducción de discriminaciones a grupos vulnerables.

Por ello, abordar los sesgos algorítmicos en educación requiere un enfoque multidimensional que integre comprensión técnica, crítica sociopolítica y práctica pedagógica reflexiva. La equidad algorítmica no es un estado alcanzable mediante soluciones puramente técnicas, sino un proceso continuo de vigilancia crítica, adaptación cultural y compromiso ético. La promesa transformadora de la IA en educación solo se realizará plenamente cuando dejemos de tratar los sesgos algorítmicos como errores técnicos para comprenderlos como expresiones de tensiones sociales más amplias que demandan respuestas igualmente amplias y colaborativas.

La Inteligencia Artificial (IA) en la educación mexicana

La IA ha emergido como una fuerza disruptiva a nivel global, prometiendo transformar sectores enteros, entre ellos, la educación. En el contexto mexicano, este potencial se vislumbra en medio de un panorama complejo, marcado por un crecimiento investigador reciente, profundas desigualdades estructurales y la urgente necesidad de desarrollar enfoques propios que respondan a las realidades locales.

El desarrollo de la IA en México es un campo joven, pero de crecimiento acelerado. Una revisión sistemática de la producción académica (Uc Castillo et al., 2025) revela que, si bien las publicaciones fueron escasas durante más de una década, han experimentado un auge significativo en los últimos cinco años, con picos notorios en 2021 y 2022.

Este interés creciente, sin embargo, presenta sesgos geográficos y temáticos. La investigación se concentra predominantemente en instituciones del centro del país, como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y se ha enfocado principalmente en el área de las Ciencias Sociales, donde abundan los estudios sobre la percepción de docentes y estudiantes respecto al uso de plataformas educativas y tecnologías de la información (Uc Castillo et al., 2025).

Este cuerpo de trabajo inicial es valioso, pero también expone una paradoja fundamental: México, siendo la mayor nación de habla hispana, es tratado en el ámbito de la IA como un “recurso de baja densidad”, careciendo de modelos y conjuntos de datos específicamente diseñados para las particularidades del español mexicano (Chizhikova et al., 2024). Al mismo tiempo, se evidencia la falta de investigación de IA aplicada a otras áreas disciplinares como las ciencias ingenieriles, artes y salud.

Precisamente, la evaluación de tecnologías avanzadas como los Sistemas de Reconocimiento Automático de Voz (ASR) evidencia las consecuencias de esta omisión. Estudios

como el de Chizhikova et al. (2024) demuestran que modelos de vanguardia como Whisper y MMS, entrenados para un “español general”, presentan sesgos algorítmicos que se tornan críticos al adoptar una mirada interseccional.

Se ha identificado un sesgo consistente, aunque leve, a favor de las voces masculinas, el cual se potencia drásticamente al considerar atributos como el tono de piel, la edad y, de manera crucial, el timbre vocal. La interpretación de este resultado explica el hecho de que dado que los hablantes mexicanos suelen emplear un habla de tono más alto, las voces femeninas con timbres agudos son las más penalizadas, lo que explica que se presenten tasas de error significativamente mayores.

En consecuencia, la implementación acrítica de estas tecnologías en aulas mexicanas, por ejemplo, para transcribir clases o evaluar la pronunciación, corre el riesgo de profundizar las desigualdades existentes, perjudicando de manera desproporcionada a estudiantes mujeres, de piel morena o con particularidades en su habla.

Frente a este panorama de desafíos técnicos y éticos, surge una luz desde la práctica educativa ground-up. El trabajo de Kasun et al. (2024) en un taller con jóvenes marginados de Cuernavaca demuestra que el interés y la capacidad para entender y utilizar la IA son universales, trascendiendo las barreras socioeconómicas. El éxito de esta intervención radicó en una pedagogía culturalmente relevante que reemplazó ejemplos ajenos (como aspiradoras robóticas) por otros significativos para los jóvenes, como los riesgos de la clonación de voz para extorsión o la creación de imágenes de vaqueros locales mediante generadores de IA.

El análisis en profundidad de este caso subraya que el “Sur Global”, y México dentro de él, no debe concebirse como un mero consumidor de tecnología, sino como un potencial generador de IA, cuyos conocimientos y realidades pueden y deben enriquecer el desarrollo de estas herramientas (Kasun et al., 2024). Por ello que la colaboración transdisciplinaria entre tecnólogos y educadores con sensibilidad antropológica y de equidad fue un aspecto clave para diseñar una experiencia de aprendizaje exitosa y ética que minimizara el sesgo de género.

Sin duda, la IA en la educación mexicana se encuentra en una encrucijada, ya que, por un lado, existe un momentum investigador creciente y un potencial inmenso para personalizar el aprendizaje, automatizar tareas administrativas y ofrecer nuevas herramientas de creación. Por otro, este potencial está amenazado por sesgos algorítmicos intrínsecos, una distribución desigual de la capacidad investigadora y el riesgo de importar modelos pedagógicos y tecnológicos culturalmente incongruentes al contexto mexicano.

Todo ello demuestra que el camino a seguir exige un compromiso con el desarrollo de una IA soberana y crítica. Esta deberá ser capaz de abordar proactivamente los sesgos desde una perspectiva interseccional que posibilite la formación de los docentes no solo como usuarios, sino como críticos y creadores. De igual modo el desarrollo de la misma deberá posibilitar y estimular que se centre el diseño

de políticas e intervenciones en la equidad y la relevancia cultural. Solo de este modo, la inteligencia artificial podrá cumplir su promesa de ser una verdadera herramienta de inclusión y transformación educativa para todos los mexicanos.

Objetivo:

El objetivo de esta investigación es analizar e identificar la presencia y reproducción de sesgos de género en el uso de la IA aplicada en contextos educativos en México. Por ello, la pregunta central que guía esta investigación es la siguiente:

¿De qué manera se manifiestan y reproducen los sesgos de género en las herramientas de IA aplicadas en contextos educativos mexicanos, y qué estrategias de mitigación pueden implementarse desde la política pública, el desarrollo tecnológico y la práctica pedagógica?

METODOLOGÍA

Este estudio se fundamenta en un diseño de investigación cualitativa. El mismo emplea una revisión integradora de la literatura como estrategia central (Regmi, 2023). Este enfoque es particularmente idóneo para sintetizar conocimientos provenientes de diversos tipos de fuentes como literatura teórica, empírica, informes de política pública y estudios de caso, lo cual permite una comprensión holística y crítica de un fenómeno complejo y emergente.

Estrategia de búsqueda y selección de fuentes

Para dar respuesta al objetivo planteado la recolección de información se realizó a través de una búsqueda amplia y exhaustiva en bases de datos académicas especializadas como: Scopus, Web of Science, RedALyC y ERIC, seleccionadas por su solidez en los campos de educación, estudios de género y ciencias de la computación. Para garantizar la relevancia contextual, esta búsqueda se complementó con una revisión en Google Scholar, con el fin de incorporar informes institucionales, políticas públicas y literatura gris de vital importancia.

La búsqueda se centró en documentos publicados entre 2020 y 2025, un período que coincide con la aceleración en la adopción de la IA en educación y la consolidación de la agenda de equidad global. La estrategia de búsqueda empleó una combinación de términos en español e inglés, estructurados en tres ejes conceptuales interconectados:

- 1. Inteligencia Artificial y Tecnología:** “inteligencia artificial”, “sesgo algorítmico”, “reconocimiento de voz”, “automatic speech recognition”, “machine learning”, “equidad en IA”, “algorithmic bias”, “AI ethics”.
- 2. Género y Educación:** “género”, “equidad”, “educación”, “mujeres”, “niñas”, “STEM”, “brecha digital de género”, “gender equity”, “education”, “women in STEM”, “digital gender gap”.

- 3. Contexto Geopolítico:** “México”, “América Latina”, “Global Sur”, “política educativa”, “Plan de Estudios 2022”, “Latin America”, “Global South”, “educational policy”.

Para refinar los resultados, se establecieron criterios de selecciones que pueden ser visibles en la Tabla 2.

Tabla 2.
Sesgos algorítmicos en IA

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
Artículos de investigación, revisiones sistemáticas y estudios de caso.	Libros completos, editoriales y artículos de opinión no sustentados empíricamente.
Literatura publicada entre 2020 y 2025.	Literatura publicada antes de 2020.
Documentos en español, inglés o portugués.	Enfoque exclusivo en contextos educativos de niveles superiores sin relevancia para la educación básica.
Enfoque explícito en la intersección IA, género/equidad y educación.	Estudios puramente técnicos de IA que no aborden dimensiones sociales o educativas.
Documentos que enfaticen en el contexto mexicano.	Documentos internacionales que no consideren el contexto educativo mexicano.

Proceso de análisis de datos

El análisis se llevó a cabo en dos fases principales, guiadas por el enfoque de Análisis Crítico del Discurso y la perspectiva interseccional:

- 1. Fase 1. Codificación y categorización.** Los documentos seleccionados fueron analizados utilizando el software de análisis cualitativo Atlas.ti 9. Se desarrolló un libro de códigos mixto que permitió categorizar la información en dimensiones clave alineadas con el objetivo y pregunta de investigación (Tabla 3).
- 2. Fase 2. Análisis interseccional.** Se examinaron los discursos presentes en los documentos analizados, identificando la presencia, ausencia o superficialidad del lenguaje sobre equidad de género y mitigación de sesgos. Simultáneamente, se analizó cómo las categorías de género se intersectan con otras, tales como la clase socioeconómica, la etnia y la ubicación geográfica en los estudios empíricos y experiencias pedagógicas revisadas.

Para garantizar transparencia y sistematicidad, se siguió un proceso de cinco pasos, adaptado de Regmi (2023) que especifica, de manera detallada, cómo se realizó la selección de los documentos que integraron el corpus de esta investigación. Es importante señalar que se revisaron bases de datos que no se consideraron al inicio de la investigación, pues se identificó que este tema ha sido poco estudiado.

Ejemplo de ello es que, a pesar de que uno de los criterios de selección fue la fecha de publicación (2020), el primer documento encontrado fue de 2022, siendo este año el inicio de la discusión de la IA en materia de perspectiva de género en el contexto educativo mexicano. (Tabla 4)

Tabla 3.
Libro de categorías y códigos

CATEGORÍA	CÓDIGO	CONCEPTOS CLAVES
Manifestaciones de sesgos de género en la IA	Sesgos en representaciones visuales	Subrepresentación femenina, estereotipos raciales y etarios, cliché del "científico hombre blanco"
	Sesgos en modelos predictivos	Clasificación errónea por género, desbalance en datos, confusión hombre→mujer
	Sesgos en diseño tecnológico	Tecnología percibida como "para hombres", exclusión en diseño de productos
	Sesgos en datos de entrenamiento	Datos no representativos, falta de diversidad en conjuntos como LAION
Orientaciones estructurales de los sesgos	Brechas en participación femenina	Baja representación en STEM, especialmente en IA (22 % global)
	Falta de datos interseccionales	Datos no desglosados por género, raza, ubicación, etc.
	Exclusión en puestos de liderazgo	Techos de cristal, comisiones mayoritariamente masculinas
	Acceso desigual a tecnología	Brecha digital, propiedad masculina de dispositivos
Impacto en contextos educativos	Perpetuación de estereotipos profesionales	Imágenes IA refuerzan roles tradicionales, desalientan vocaciones
	Modelos predictivos con sesgo	Clasificación de estudiantes por género basada en percepciones
	Falta de modelos educativos inclusivos	Contenidos que no consideran necesidades femeninas
	Alfabetización digital crítica	Necesidad de educar sobre sesgos algorítmicos
Estrategias de mitigación	IA feminista y perspectiva de género	Diseño interseccional, cocreación, auditoría ética
	Recolección de datos interseccionales	Construcción de datasets representativos, políticas de datos abiertos
	Educación crítica en IA	Alfabetización algorítmica, auditorías participativas en aula
	Políticas públicas con perspectiva de género	Cuotas en comisiones, incentivos para inclusión, educación STEM
	Técnicas técnicas de balanceo	Oversampling, normalización, selección de características

Tabla 4.
Sesgos algorítmicos en IA

PASOS	PROCESOS
Paso 1. Formulación de propósito	Definir el análisis crítico de la intersección IA-género-educación en México, identificando sesgos, políticas y prácticas pedagógicas.
Paso 2. Búsqueda de literatura	Bases de datos: Scopus, WoS, RedAllyC, ERIC, Google Scholar y sitios de organismos. Términos de búsqueda basados en los tres ejes conceptuales. Periodo: 2020-2025.
Paso 3. Selección y evaluación	Documentos iniciales: Obtuvimos un total de 520 documentos, de los cuales, 478 (bases de datos seleccionadas) y 42 (de otras fuentes). Después de un screening y considerando los criterios de inclusión y exclusión, se recuperaron 35 documentos cuyos ejes temáticos giraban en torno a las variables de nuestra investigación. Posteriormente, se realizó un análisis profundo de los documentos, seleccionando 5 documentos. El resto se excluyó ya que las temas de la investigación no formaban parte de los ejes centrales de la investigación, o estaban contextualizadas en otras latitudes latinoamericanas. La selección final fue de 5 documentos
Paso 4. Análisis temático	Codificación con Atlas.ti 9 y desarrollo de temas a través del Análisis crítico del discurso y la lente interseccional.
Paso 5. Hallazgos y síntesis de la información	Resultados de la investigación con énfasis en la pregunta de investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta investigación tomó como base cinco artículos científicos (Tabla 5).

Estos fueron los documentos que cumplieron con los criterios de selección definidos al inicio de la investigación. A partir de su análisis, se presentan los resultados y discusión.

Las manifestaciones: cuando la IA nos devuelve una imagen incompleta

La evidencia es contundente y preocupante. Al pedirle a una IA que genere la imagen de un profesional forense, se observará que en el 90 % de los casos nos devolverá la figura de un hombre, predominantemente blanco, de edad mediana y con atributos estereotípicos como gafas y bata de laboratorio (Torres Zuñiga, 2024).

Esta no es una mera anécdota. Es la expresión sintomática de un problema estructural. Los modelos predictivos entrenados con datos de percepciones estudiantiles pueden alcanzar una precisión del 96 % en el entrenamiento, pero un análisis más profundo revela un patrón sistemático: el error más común es clasificar a los estudiantes hombres como mujeres (Ibarra-Vázquez et al., 2024). La IA, en su objetividad aparente, está aprendiendo y perpetuando nuestros prejuicios. Estos sesgos no se limitan a lo visual o predictivo. Se traducen en diseños tecnológicos que no consideran a las mujeres como usuarias o creadoras.

Tabla 5.
Artículos analizados

AUTORES	TITULO	AÑO	ADSCRIPCIÓN
Ibarra-Vazquez et al.	Gender prediction based on University students' complex thinking competency: An analysis from machine learning approaches	2023	Tecnológico de Monterrey
Medina Vidal et al.	Financial inclusion of vulnerable sectors with a gender perspective: Risk analysis model with artificial intelligence based on complex thinking	2025	Tecnológico de Monterrey
Spitz et al.	A gender perspective on Artificial Intelligence (AI) and the tech-sector Position paper for the multi-stakeholder dialogue in Mexico	2023	No especifica
Torres Zúñiga	Sesgos en la representación de profesionales de la ciencia forense en imágenes generadas por inteligencia artificial	2025	Universidad Nacional Autónoma de México
Vargas-Solar	Intersectional study of the gender gap in STEM through the identification of missing datasets about women: A multisided problem	2022	Universidad de Lyon

Como se señaló en el diálogo multisectorial en la Ciudad de México, la tecnología suele ser percibida como un espacio “de y para hombres”, lo que se traduce en productos, desde plataformas educativas hasta algoritmos de crédito, en donde se marginaliza a la mujer con educación básica (Medina Vidal et al., 2025), que no responden a las realidades, necesidades o cuerpos femeninos (Spitz et al., 2023).

Las raíces:

Un problema de datos, poder y representación

¿Por qué la IA reproduce estos sesgos? La respuesta yace, en gran medida, en sus entrañas: los datos con los que se alimenta. Nos enfrentamos a una crisis de datos faltantes que no se han visibilizado en la construcción de las bases de datos de las que se alimentan las IA. No existen conjuntos de datos integrales e interseccionales que documenten de manera adecuada las contribuciones, la participación y las trayectorias de las mujeres mexicanas en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM) (Vargas-Solar, 2022) o en solicitudes de crédito con base en la escolaridad (Medina Vidal et al., 2025).

Esta invisibilidad estadística tiene una correlación directa con la realidad, pues en México, aunque las mujeres representan más del 50 % de los estudiantes de posgrado en

STEM, solo conforman el 34 % del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). La brecha se ensancha en los niveles más altos: únicamente el 5 % de las investigadoras alcanzan el nivel III, y en áreas como la computación, la cifra es aún más desoladora (Vargas-Solar, 2022). Sin datos, no hay evidencia; sin evidencia, no hay políticas públicas efectivas y, sin políticas, el ciclo de exclusión se perpetúa.

El origen del problema, por tanto, no es meramente técnico, sino profundamente estructural. Es un problema de poder y representación que se manifiesta en comisiones evaluadoras mayoritariamente masculinas, en la concentración del desarrollo tecnológico en ciertos grupos sociales y en un acceso desigual a la infraestructura digital, donde, en muchos hogares rurales, el teléfono inteligente —la llave al mundo digital— sigue estando en manos de los hombres (Spitz et al., 2023).

El impacto en la educación: formando futuros sesgados

Las consecuencias en el ámbito educativo son profundas. Cuando un estudiante busca referentes visuales de científicos en internet y se encuentra sistemáticamente con imágenes de hombres generadas por IA, internaliza un mensaje poderoso y dañino: la ciencia no es para mujeres. Esto desalienta las vocaciones científicas tempranas en las niñas y refuerza estereotipos que la sociedad lleva décadas intentando erradicar. Lo mismo sucede con la validación de propuestas de emprendimiento tomando como base el nivel educativo y el género, dando como resultado una interrelación entre los sistemas de pensamiento y de innovación (Medina Vidal et al., 2025).

Sin embargo, existe una luz de esperanza pedagógica. Cuando se involucra a los estudiantes en la auditoría crítica de estas herramientas, como en la actividad de dos horas documentada por Torres Zúñiga (2024), se produce un despertar de la conciencia crítica. Los estudiantes pasan de ser consumidores pasivos a usuarios críticos, capaces de cuestionar la supuesta neutralidad de la tecnología. Esta alfabetización algorítmica se revela como una competencia fundamental para la ciudadanía del siglo XXI.

Romper este ciclo requiere una intervención coordinada y multidimensional, pues no basta con ajustar los algoritmos; hay que transformar el ecosistema completo. Desde la política pública, es urgente crear un Observatorio Nacional de Sesgos Algorítmicos que audite las herramientas de IA utilizadas en el sector educativo público, ya que forma parte de las múltiples necesidades de las instituciones educativas (Huesca y Fueyo Hernández, 2025). Además, se deben implementar políticas de datos abiertos con perspectiva de género que obliguen a la transparencia y fomenten la creación de datasets representativos.

Desde el desarrollo tecnológico, la promoción de una IA con enfoque feminista es crucial. Esto implica integrar perspectivas interseccionales de género en todo el ciclo de desarrollo de la IA, desde el diseño hasta la implementación, priorizando la cocreación con comunidades diversas y estableciendo comités de ética robustos. Cuando se mira

desde una perspectiva pedagógica, la educación debe asumir un rol protagónico. Integrar la crítica de algoritmos en los currículos de todos los niveles educativos, formar a docentes en la identificación de sesgos tecnológicos y promover la creación de contenidos educativos con referentes femeninos diversos son acciones inmediatas y de alto impacto.

La inteligencia artificial en la educación mexicana no es un ente ajeno; es un producto social que encapsula nuestras virtudes y nuestras taras. Los sesgos de género que exhibe no son un error técnico a corregir, sino el síntoma de exclusiones históricas y estructurales. Abordarlos exige mirar más allá del código y comprometernos con una transformación cultural, educativa y política que coloque la equidad en el centro del desarrollo tecnológico. El futuro de la educación en México no puede estar en manos de algoritmos que repiten los errores del pasado o que estén a merced de los intereses del mercado internacional; debe construirse con herramientas que nos ayuden a imaginar y crear un futuro más justo e inclusivo para todos.

CONCLUSIONES

La integración de la inteligencia artificial en el sistema educativo mexicano se revela como un espejo tecnológico que refleja con inquietante precisión las desigualdades estructurales del país. Los hallazgos de esta investigación demuestran contundentemente que los sesgos algorítmicos no constituyen meras anomalías técnicas, sino la cristalización digital de exclusiones históricas de género, clase y origen étnico-racial que han caracterizado el desarrollo nacional. Además, es un tema que debe ser estudiado y del que se tiene poca información al respecto; prueba de ello es la escasa literatura encontrada para la realización de este análisis documental.

La evidencia documentada a través de cinco estudios independientes confirma que la IA educativa en México enfrenta una paradoja fundamental: mientras se promociona como herramienta de modernización e igualdad de oportunidades, en la práctica sistematiza y escala discriminaciones preexistentes. Desde las imágenes generativas que invisibilizan a las profesionales científicas (Torres Zuñiga, 2024) hasta los modelos predictivos que replican estereotipos de género (Ibarra-Vázquez et al., 2024), pasando por los sistemas de reconocimiento de voz que penalizan características fonéticas mexicanas (Chizhikova et al., 2024), se configura un ecosistema tecnológico que naturaliza la exclusión.

Este patrón responde a lo que Suresh y Guttag (2020) identifican como sesgos históricos, de representación y medición, pero con una particularidad mexicana: la intersección entre la herencia colonial en la producción de conocimiento y las dinámicas contemporáneas de exclusión digital. Como señalan acertadamente Kasun et al. (2024), México y el Sur Global transitan de consumidores pasivos a potenciales generadores de IA, pero este tránsito encuentra barreras estructurales en la concentración geográfica de la investi-

gación (Uc Castillo et al., 2025) y en la caracterización del español mexicano como “recurso de baja densidad” (Chizhikova et al., 2024).

Frente a este panorama, sería erróneo caer en el determinismo tecnológico. La investigación identifica espacios significativos de agencia y resistencia que apuntan hacia alternativas transformadoras. En primer lugar, urge profundizar en una alfabetización algorítmica crítica como herramienta de empoderamiento, demostrando que, cuando los estudiantes y los docentes desarrollan capacidad de auditoría tecnológica (Torres Zuñiga, 2024), pueden transitar de usuarios pasivos a críticos creadores. Además, prácticas pedagógicas culturalmente relevantes, como el taller documentado por Kasun et al. (2024) en Cuernavaca, evidencian que el interés y la capacidad para entender y utilizar la IA son universales cuando se reemplazan ejemplos ajenos por problemas significativos localmente. Asimismo, las iniciativas de datos abiertos y transparencia algorítmica sugieren caminos para construir soberanía tecnológica a partir del reconocimiento de los datos faltantes (Vargas-Solar, 2022) y la necesidad de conjuntos de datos representativos.

Los hallazgos realizados resaltan la importancia de repensar el contrato social que subyace a la integración tecnológica en educación. Se requieren mecanismos de gobernanza multiactor que superen el actual modelo de importación acrítica de soluciones estandarizadas. Específicamente, esta investigación sugiere el diseño de políticas de datos con perspectiva interseccional que tengan como prioridad el desarrollo de conjuntos de datos representativos de la diversidad mexicana, así como la generación de un marco regulatorio para auditorías algorítmicas independientes en el sector educativo público, con especial atención a sesgos de género y exclusión lingüística. Por otro lado, es indispensable la formación docente en materia de crítica algorítmica que trascienda la mera capacitación instrumental para desarrollar capacidad de evaluación ética y pedagógica de tecnologías educativas.

Sin embargo, se observa una inversión en investigación centralizada, lo cual limita fuertemente este campo, pues existe una concentración actual en instituciones del centro del país y deja fuera otros contextos que han sido históricamente marginalizados.

De esta manera, la IA en la educación mexicana se revela, en última instancia, como un proyecto político-pedagógico antes que meramente técnico. Su desarrollo futuro estará determinado no por capacidades computacionales, sino por decisiones fundamentales sobre qué tipo de sociedad queremos construir y qué valores deben guiar nuestra relación con la tecnología. La promesa transformadora de la IA educativa solo se realizará plenamente cuando dejemos de tratarla como solución técnica importada y la reconozcamos como espacio de disputa cultural donde se definen los futuros posibles para las próximas generaciones de mexicanos. El camino hacia una IA educativa verdaderamente equitativa exige confrontar no solo los sesgos en los algoritmos, sino las exclusiones en la estructura social que estos reflejan y amplifican.

En este contexto, la investigación futura deberá profundizar en el desarrollo de metodologías de evaluación contextualizadas y en el diseño de intervenciones pedagógicas críticas que permitan transitar de la identificación de problemas a la construcción colectiva de alternativas. Solo

mediante este compromiso con una IA educativa crítica, decolonial y éticamente fundamentada podrá cumplirse la promesa de una educación verdaderamente inclusiva para todos los mexicanos.

REFERENCIAS

- Anderson, H., Boodhwani, A., & Baker, R.S. (2019). *Assessing the fairness of graduation predictions*. Proceedings of the 12th International Conference on Educational Data Mining, 488–491. https://learninganalytics.upenn.edu/ryan-baker/EDM2019_paper56.pdf
- Baker, R.S., & Hawn, A. (2022). Algorithmic bias in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(4), 1052–1092. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00285-9>
- Bridgeman, B., Trapani, C., & Attali, Y. (2012). Comparison of human and machine scoring of essays: Differences by gender, ethnicity, and country. *Applied Measurement in Education*, 25(1), 27–40. <https://doi.org/10.1080/08957347.2012.635502>
- Chizhikova, A., Billinghamurst, H., Elizabeth, M., Hossain, S., Kulkarni, A., Guibon, G., & Couceiro, M. (2024). *Factorizing gender bias in automatic speech recognition for mexican Spanish*. <https://univ-catholille.hal.science/LORIA-NLPKD/hal-04607587v2>
- Ferrero, F., & Gewerc Barujel, A. (2019). Algorithmic driven decision-making systems in education: Analyzing bias from the sociocultural perspective. *2019 XIV Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO)* (pp. 166–173). <https://doi.org/10.1109/LACLO49268.2019.00038>
- Gardner, J., Brooks, C., & Baker, R. (2019). Evaluating the fairness of predictive student models through slicing analysis. Proceedings of the 9th International Conference on Learning Analytics & Knowledge (pp. 225–234). <https://doi.org/10.1145/3303772.3303791>
- Huesca, E. y Fueyo Hernández, E.M. (2025). Brechas en el uso de la IA en la educación superior En J.L. Cuevas Nava (Coord.). *Inteligencia Artificial en la educación superior [Gaps in the use of AI in higher education*. In J.L. Cuevas Nava (Coord.). *Artificial Intelligence in higher education*] (pp. 23–45). ANUIES. https://publicacionesdigitales.anuiex.mx/wp-content/uploads/2025/10/Impresion_Inteligencia-artificial-final.pdf
- Ilbay, E.L. (2024). Ética y regulación de la inteligencia artificial en tecnologías educativas aplicadas a contextos escolares latinoamericanos (Ethics and Regulation of Artificial Intelligence in Educational Technologies Applied to Latin American School Contexts). *Atlas Research Journal*, 2(1). <https://doi.org/10.65305/arj.v2n1.2024.18>
- Ibarra-Vazquez, G., Ramirez-Montoya, M. S., & Terashina, H. (2024). Gender prediction based on University students' complex thinking competency: An analysis from machine learning approaches. *Education and Information Technologies*, 29, 2721–2739. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11831-4>
- Kasun, G.S., Liao, Y.-C., Marguleux, L.E., & Woodall, M. (2024). Unexpected outcomes from an AI education course among education faculty: Toward making AI accessible with marginalized youth in urban Mexico. *Frontiers in Education*, 9, 1368604. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1368604>
- Loukina, A., & Buzick, H. (2017). Use of automated scoring in spoken language assessments for test takers with speech impairments. *ETS Research Report Series*, 2017(1), 1–10. <https://doi.org/10.1002/ets2.12170>
- Lozano-Mulet, P. (2025). Sesgos algorítmicos desde una perspectiva interseccional. La necesidad de una alfabetización digital crítica en educación (Algorithmic Biases from an Intersectional Perspective: The Need for Critical Digital Literacy in Education). *Revista Izquierdas*, 54, 1–31. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-50492025000100240>
- Medina Vidal, A., Alonso-Galicia, P.E., González Mendoza, M., & Ramírez-Montoya, M.S. (2025). Financial inclusion of vulnerable sectors with a gender perspective: Risk analysis model with artificial intelligence based on complex thinking. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 14(4). <https://doi.org/10.1186/s13731-025-00463-2>
- Regmi, K.D. (2023). Decolonising meritocratic higher education: Key challenges and directions for change. *Globalisation, Societies and Education*, 766–783. <https://doi.org/10.1080/14767724.2023.2210516>
- Salcido Ledezma, M.A. (2024). Reflexiones sobre la regulación en materia de inteligencia artificial: brechas entre Europa y México (Reflections on Artificial Intelligence Regulation: Gaps between Europe and Mexico). *Revista Iberoamericana*, 1(1), 31–40. <https://eritronio.org/index.php/revista/article/view/12>
- Spitz, S., Züger, T., & Mosene, K. (2023). *A Gender Perspective on Artificial Intelligence (AI) and the Tech-Sector. Position Paper for the multi-stakeholder dialogue in Mexico*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10159107>
- Suresh, H., & Gutttag, J.V. (2020). *A framework for understanding unintended consequences of machine learning*. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/1901.10002>
- Torres Zúñiga, V. (2024). Sesgos en la representación de profesionales de la ciencia forense en imágenes generadas por inteligencia artificial (Biases in the Representation of Forensic Science Professionals in Artificial Intelligence-Generated Images). *TIES*, 12. <https://doi.org/10.22201/dgtic.26832968e.2025.12.57>
- Uc Castillo, J.L., Marín Celestino, A.E., Martínez Cruz, D.A., Tuxpan Vargas, J., Ramos Leal, J.A., & Morán Ramírez, J. (2025). A systematic review of Machine Learning and Deep Learning approaches in Mexico: challenges and opportunities. *Frontiers in Artificial Intelligence* 7(1479855). <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1479855>
- Vargas-Solar, G. (2022). Intersectional study of the gender gap in STEM through the identification of missing datasets about women: A multisided problem. *Applied Sciences*, 12, 5813. <https://doi.org/10.3390/app12125813>

Gemelos digitales en realidad aumentada para el despiece didáctico de una cortadora de carne

Jenifer Estefania Mercado Velazquez; Héctor Alonso Guerrero Osuna; Arturo Serrano Muñoz; Luis Octavio Solís Sánchez y Ma. del Rosario Martínez Blanco

RESUMEN

La enseñanza y el mantenimiento tradicional de la maquinaria industrial están basados en manuales, lo que dificulta el desarrollo de habilidades prácticas y la comprensión de componentes internos. Esto tiene como consecuencia el aumento de incidentes operativos, desgaste físico de la maquinaria y cortes por mal manejo. El objetivo principal de este proyecto consiste en diseñar un gemelo digital de una rebanadora de carne con realidad aumentada para facilitar el aprendizaje. Primero, se diseñó un modelo tridimensional de la rebanadora de carne con Blender® basado en la máquina física; luego, se importó a Unity®, un motor de realidad aumentada multiplataforma y compatible con Vuforia®, una plataforma de RA especializada que permite reconocer imágenes, objetos y espacios reales para superponer contenido digital. Se creó un objetivo de imagen para la geolocalización del modelo 3D en el entorno físico. El resultado fue una aplicación que permite a los usuarios manipular y visualizar la rebanadora, así como sus componentes y nombres, en realidad aumentada, simulando el proceso de despiece de forma segura e interactiva. Se espera que esta herramienta facilite el proceso de aprendizaje de los ingenieros especializados en maquinaria industrial, en comparación con los métodos tradicionales, reduciendo la brecha entre la teoría y la práctica, a la vez que minimiza los riesgos operativos. Este enfoque demuestra el potencial que existe entre los gemelos digitales y la realidad aumentada, proporcionando un recurso didáctico moderno para la formación técnica segura de los estudiantes.

Palabras clave: realidad aumentada, gemelos digitales, cortadora de carne, despiece, aprendizaje.

Cómo citar: Mercado, J., Guerrero, H., Serrano, A., Solís, L., Martínez, M. (2026). Gemelos digitales en realidad aumentada para el despliegue didáctico de una cortadora de carne. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto4>

Augmented reality digital twins for the didactic disassembly of a meat cutter

ABSTRACT

Traditional teaching and maintenance of industrial machinery are based on manuals, which makes the development of practical skills and the understanding of internal components difficult. This results in an increase in operational incidents, physical wear of the machinery, and cuts due to improper handling. The main objective of this project is to design a digital twin of a meat slicer with augmented reality to facilitate learning. First, a three-dimensional model of the meat slicer was designed with Blender® based on the physical machine; then, it was imported into Unity®, a cross-platform augmented reality engine compatible with Vuforia®, a specialized AR platform that allows the recognition of images, objects, and real spaces to overlay digital content. An image target was created for the geolocation of the 3D model in the physical environment. The result was an application that allows users to manipulate and visualize the slicer, as well as its components and names, in augmented reality, simulating the disassembly process in a safe and interactive way. It is expected that this tool will facilitate the learning process of engineers specialized in industrial machinery, compared to traditional methods, reducing the gap between theory and practice, while minimizing operational risks. This approach demonstrates the potential that exists between digital twins and augmented reality, providing a modern didactic resource for the safe technical training of students.

Keywords: augmented reality, digital twins, meat slicer, disassembly, learning

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la formación de estudiantes en áreas industriales exige más que la transmisión de conocimientos teóricos, por lo que resulta fundamental que los estudiantes adquieran una comprensión profunda de las máquinas, lo que implica la interacción directa y el conocimiento de sus componentes internos. Los métodos tradicionales, basados en la limitada interacción física con equipos reales y el aprendizaje basado en manuales y planos, provocan una brecha significativa entre la teoría y la práctica, lo que repercute en el desarrollo de competencias operativas, promoviendo deficiencias en procesos de mantenimiento (Fernandes et al., 2014).

Como consecuencia, el sistema educativo ha incorporado herramientas tecnológicas que acercan a los estudiantes a entornos de aprendizaje más dinámicos e inmersivos, facilitando el desarrollo de habilidades prácticas relevantes para el sector industrial. Una de estas es la realidad aumentada (RA), que emerge con un mayor potencial para cerrar esta brecha, definida como la combinación de información digital y física en tiempo real, promoviendo la capacidad de ampliar significativamente la percepción humana (Al-Ansi et al., 2023).

La RA es diferente a la realidad virtual (RV), la cual crea un entorno completamente nuevo y envolvente, al enfocarse en enriquecer la interacción del usuario con su ambiente real mediante la superposición de información virtual en el espacio físico (Mendoza-Ramírez et al., 2023). Además,

la integración de los gemelos digitales, que son réplicas virtuales de objetos y procesos, permite una interacción con máquinas industriales sin necesidad de tenerlas físicamente (Saracco, 2019; Yao et al., 2023). Estos pueden ser utilizados para el monitoreo en tiempo real, la simulación y la optimización (Saracco, 2019; Yao et al., 2023), lo que permite la operación remota y el mantenimiento (Van Dinter et al., 2022). Es importante para la Industria 4.0 y la manufactura inteligente, resaltando la importancia de la digitalización y la autonomía en los sistemas industriales (Qi & Tao, 2018; Rosen et al., 2015; Jiang et al., 2021). Esta tecnología también se utiliza para mejorar los procesos de mantenimiento, brindando beneficios y nuevas oportunidades en diversos casos de uso (Bustamante-Limones et al., 2024).

Esta combinación no solo mejora la productividad, al crear entornos de capacitación más seguros y confiables, sino que elimina los riesgos asociados con la manipulación física y el desgaste operativo (Zafar et al., 2024; Van Dinter et al., 2022).

Al crear entornos inteligentes y seguros para el aprendizaje, se facilita una visualización detallada de los componentes internos y externos de las máquinas, fomentando una manufactura centrada en el ser humano e integrando tecnologías (Zafar et al., 2024). Su implementación en el ámbito educativo, en las áreas industriales y tecnológicas, produce un cambio significativo en los procesos de enseñanza, mejorando las experiencias de aprendizaje, gracias a

la implementación de laboratorios digitales en la educación vocacional. La superposición de modelos 3D detallados o datos en tiempo real sobre un objeto físico o su entorno permite a los estudiantes interactuar con el contenido de forma que replica condiciones del mundo real, pero sin los riesgos o costos asociados (Abad-Segura et al., 2020; Mendoza-Ramírez et al., 2023). Guiando a los estudiantes a través de un procedimiento de ensamblaje o despiece, mostrando las herramientas correctas, el orden de los pasos y la ubicación de los componentes, contribuyendo a abordar varios desafíos en la educación industrial (Koumpourous, 2024). El uso de dispositivos móviles (celulares, tabletas) y el creciente acceso a internet en las aulas logran que sea posible el desarrollo de plataformas accesibles. Ello hace que esta tecnología sea cada vez más viable y atractiva para fines educativos (Chen y Wang, 2015).

El presente trabajo se enfoca en el despiece de una cortadora de carne industrial, un equipo específico diseñado y fabricado por Francisco Said Xamanek en el Laboratorio de Inteligencia Artificial Avanzada (LIAA) de la Universidad Autónoma de Zacatecas (Xamanek Rocha Gómez, 2024). La elección de este equipo no se debe únicamente a su complejidad y la necesidad de una capacitación precisa para su mantenimiento y seguridad, sino también al propósito principal de implementar un mecanismo de automatización y control, económico y funcional, volviéndolo adaptable a equipos comerciales (Xamanek Rocha Gómez, 2024).

Incorporar tecnologías como la realidad aumentada al gemelo digital de esta máquina desarrolla una herramienta educativa que no solo mejora la seguridad operativa y la comprensión técnica, también ofrece una alternativa a los métodos tradicionales de formación en el sector industrial. Es de suma relevancia para la capacitación específica de este equipo; al mismo tiempo, genera impacto en futuras aplicaciones para diversas máquinas industriales.

En este sentido, la implementación de este estudio no solo aborda las limitaciones de los métodos de enseñanza tradicionales, sino que también establece un precedente para la formación de las próximas generaciones de ingenieros y técnicos en entornos industriales. Elegir tecnologías que fomenten un aprendizaje interactivo prepara a los estudiantes para enfrentar los retos de la Industria 5.0 (Asad et al., 2023; Zafar et al., 2024). Este enfoque proporciona una solución para la formación en el despiece de maquinaria específica y transforma la manera en que se adquieren las competencias técnicas en el sector industrial.

Objetivo:

El propósito de este proyecto es desarrollar un gemelo digital interactivo en una aplicación de realidad aumentada, para simular de forma detallada el proceso de despiece y facilitar el análisis de los componentes internos de una cortadora de carne industrial. Ello así, para reducir el riesgo operativo y fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje.

METODOLOGÍA

En este proyecto se diseñó una herramienta didáctica que fusiona la realidad aumentada (RA) con gemelos digitales (GD) de una cortadora de carne industrial, buscando facilitar el proceso de aprendizaje del despiece y su análisis, con un enfoque especial en la seguridad del aprendiz, que fortalece el proceso con el desarrollo de la aplicación móvil y la validación de características funcionales.

Ello dio comienzo con el proceso de modelado, el que no solo se basó en la recreación de la máquina física, sino que también se buscó que los componentes diseñados fueran precisos. Para tal objetivo, se analizó la ficha técnica de la cortadora de carne para entender su composición y componentes; este documento proporcionó la información sobre las dimensiones reales de las piezas, así como de los materiales de fabricación de cada una de estas.

Posteriormente, se desensambló la cortadora con el objetivo de visualizar los componentes internos y así ubicar detalladamente cada una de las partes; esto fue de utilidad para el modelado 3D. Asimismo, se hizo un estudio de movimiento para la animación en RA de la aplicación. Con todo el proceso de mediciones y la ficha técnica como referencia, se inició el modelado en Blender®; cada componente fue diseñado individualmente, pieza por pieza, para garantizar que el modelo final no solo fuera visualmente exacto, sino que también permitiera la simulación del proceso de despiece de manera precisa, tal como lo haría la máquina real, además de agregar una simulación de movimiento basada en el funcionamiento de la cortadora real.

Dicha fase inicial se centró en crear un modelo tridimensional (3D) de alta fidelidad de la cortadora de carne industrial. El proceso se llevó a cabo sobre la máquina física utilizando el software de modelado 3D Blender®, implementado por su capacidad para crear modelos 3D de alta calidad con un gran nivel de detalle, siendo la herramienta más compatible para el desarrollo de RA. Cada parte de la cortadora fue modelada individualmente, desde su estructura principal hasta los detalles (tornillos y mecanismos internos), asegurando que las dimensiones y propiedades sean precisas para garantizar la fidelidad del gemelo digital; de la misma forma, facilitar la transferencia de habilidades operativas del entorno virtual al físico.

La cortadora es un prototipo de dispositivo automatizado diseñado para cortar carne de res en procesos de deshidratación que utilizan inducción electromagnética y bajas presiones para garantizar una alta calidad proteica para consumo humano. Para el desarrollo del entorno de RA se realizó el modelado de la cortadora de carne y sus componentes en 3D. Se eligió Blender® como software debido a su compatibilidad con Unity® (motor de desarrollo de juegos) y la plataforma de desarrollo de RA (PTC, 2024). La implementación de estas herramientas es importante para el realismo del objeto 3D, como se muestra en la Figura 1.

Para asegurar el rendimiento de la aplicación, se sometió a diferentes cambios con la finalidad de mejorar la cali-

dad visual y el rendimiento, utilizando el flujo de trabajo de renderizado basado en la física (PBR) de Unity®. El uso de PBR fue fundamental para lograr el efecto de materiales como el acero inoxidable de la cuchilla, metales pulidos y el plástico, utilizando diferentes mapas de texturas para definir las propiedades en la superficie del modelo, como el mapa albedo (color base), que define el color de la superficie del modelo sin incluir información sobre iluminación o sombras. En la aplicación se utilizó para diferenciar los materiales base de la cortadora, como la pintura roja del cuerpo, además de representar la textura del acero pulido.

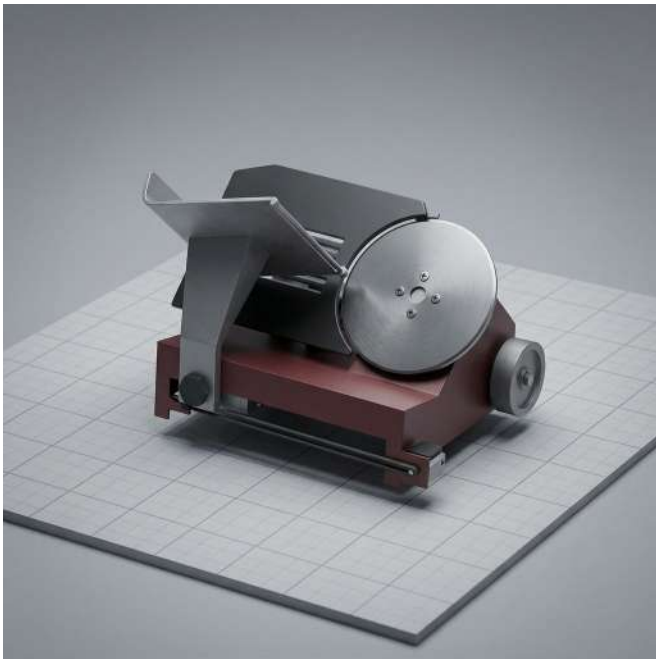


Figura 1. Modelo 3D de la cortadora diseñado en Blender®.

Otro de los mapas que se utilizó es el mapa metálico (Metallic Map), el cual determina si una superficie es metálica o no metálica. Los píxeles blancos en este mapa indican un material metálico (como el acero inoxidable de la cuchilla), mientras que los píxeles negros indican un material no metálico (como el plástico o la goma). Su función principal es que el renderizado calcule cómo debe reaccionar el material a la luz, generando reflejos y brillos realistas. Mientras que el mapa de suavidad (Smoothness Map o Roughness Map) controla qué tan pulida o áspera es una superficie: sus valores altos (píxeles blancos) representan superficies muy pulidas y reflectantes (como la cuchilla de la cortadora), mientras que los valores bajos (píxeles negros) representan superficies ásperas y mate (plásticos y la goma). La correcta combinación de estos mapas permitió alcanzar un realismo visual, haciendo que el modelo 3D se integrara en el entorno de realidad aumentada del usuario.

Luego, se importó el modelo a Unity®, donde, utilizando su SDK para la función de realidad aumentada que integra

Vuforia®, se configuró la cámara AR (cámara de realidad aumentada) para el rastreo en entorno real, detectando un objetivo específico (código QR) y así superponer el modelo 3D en relación con el objetivo de RA (Figura 2).

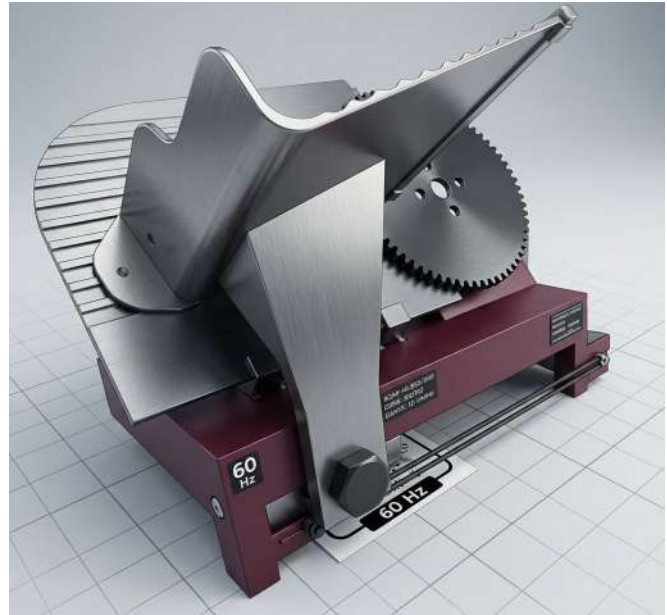


Figura 2. Cortadora de carne exportada en Unity® sobre el Image Target

Con una imagen de un render de la cortadora de carne, se diseñó un código QR como Imagen Objetivo; fue colocado en un lugar visible para realizar las pruebas, como en una mesa de trabajo o un dispositivo móvil. Al enfocar la cámara del dispositivo en la Imagen Objetivo, la aplicación reconoce la imagen y superpone el modelo 3D de la cortadora de carne en el espacio real. El usuario puede interactuar con el modelo, permitiendo la exploración, simulación del despiece e información de cada uno de los componentes con señales de texto.

Utilizar la Imagen Objetivo permite la geolocalización del modelo 3D en realidad aumentada, lo cual brinda un punto de referencia estable, haciendo que el objeto no se mueva o desplace durante la interacción; esto permite usarla en diferentes contextos y lugares de aprendizaje. Este componente es fundamental al interactuar con el gemelo digital, garantizando un punto fijo para la superposición del modelo sobre el entorno físico. Después de que el modelo se importó a Unity® y se configuró el sistema de realidad aumentada con Vuforia®, se diseñó un menú simple e intuitivo, el que funciona como un control remoto para el modelo 3D; de esta manera, el usuario puede manipular el modelo. El objetivo es que el usuario pueda ver las diferentes partes de la cortadora de carne, separarlas y acceder a información detallada de cada una sin complicaciones.

Se desarrolló el menú con la herramienta canvas de Unity® y la UI del mismo entorno; el canvas funciona como un lienzo invisible que se superpone a la pantalla. En este

lienzo se pueden colocar todos los elementos de la interfaz de usuario (UI), como botones, texto e imágenes. Para asegurar su correcto funcionamiento en diferentes dispositivos móviles, se configuró el canvas para que se ajustara automáticamente al tamaño de la pantalla. Dentro del canvas se crearon paneles; estos paneles actuaron como contenedores para agrupar diferentes elementos. Se hizo un panel para el menú principal y otros para los submenús que se activan posteriormente; los botones cumplen con una función específica (ocultar objetos).

Este código vincula la acción de presionar un botón con una respuesta específica; por ejemplo, al tocar el botón de “Despiece”, el código le indica al modelo 3D que activará la animación de separación de las partes. De manera similar, el botón de “Información” activa la visualización de un cuadro de texto junto a la pieza seleccionada por el usuario.

A su vez, se enlazó el menú al objeto 3D al ser parte de la aplicación, el que estará siempre disponible para el usuario. De este modo, una vez que la aplicación detecta la imagen del código QR y superpone el modelo 3D, el menú aparece en la pantalla, permitiendo al usuario manipular el modelo 3D sin que este se moviera o se perdiera de su ubicación inicial.

En la etapa final del proyecto, el desarrollo de la interactividad fue importante. Después de crear los modelos y de optimizarlos para el entorno de realidad aumentada (RA), se realizó la programación de las funciones que permiten la interacción con la réplica virtual, logrando que la aplicación sea fluida e intuitiva con el usuario. Para lograr esto, se crearon varios scripts en C#, el lenguaje de programación utilizado en el motor Unity®, además de cumplir con las características necesarias para el desarrollo del proyecto por tener un bajo consumo de memoria y un buen rendimiento de hardware, haciendo de esta una aplicación ideal para el desarrollo de motores gráficos, lo que permite dar el enfoque en la experiencia del usuario con la creación de funcionalidades y herramientas didácticas; esta decisión optimiza el tiempo y ofrece un producto final estable.

El enlace del código con los elementos visuales en Unity® se llevó a cabo mediante el concepto de Componentes. Cada objeto dentro de la escena virtual, como el modelo de la cortadora de carne, los controles deslizantes o los botones, se considera un GameObject; para que pudiera tener una funcionalidad, se le adjunta un script de C# como componente, para que así el archivo de código se convierta en una parte del objeto, permitiendo de esta forma acceder y manipular sus propiedades. Para esto se desarrollaron dos scripts principales para gestionar las interacciones del usuario: DespieceRotacion y OcultarObjeto. Estos scripts son la base de la interactividad de la aplicación; el script de DespieceRotacion controla la interactividad del usuario con el modelo 3D. En este se programaron interacciones táctiles y animaciones que simulan el proceso de despiece, además del movimiento de cada pieza con el menú dentro del entorno de RA a través de controles deslizantes, permitiendo la rotación y el despiece de la réplica virtual.

Se crearon también dos funciones, ActualizarRotacion y ActualizarDespiece, las cuales están encargadas de rotar el modelo 3D y animar el movimiento de las piezas, cambiándolas de posición. La función ActualizarRotacion manipula los valores del control deslizante que gira el objeto en el eje Y, permitiendo la visualización de 360 grados; a su vez, la función ActualizarDespiece es la encargada de animar el movimiento de las piezas al modificar sus posiciones de manera fluida desde su estado inicial hasta su posición final, aportando realismo con un retraso entre cada pieza y un efecto de aceleración que simula movimiento natural, mostrado en la Figura 3.

El script DespieceRotacion fue diseñado con una clase (GrupoDePiezas) que permite agrupar y gestionar las piezas de forma organizada, como se muestra en la Figura 4. Por su parte, el script OcultarObjeto, mostrado en la Figura 5, completa la funcionalidad del menú gestionando la visibilidad de los componentes, permitiendo a los usuarios seleccionar las piezas de manera individual. Dentro de este se encuentra la función ActualizarDespiece, vinculada a los botones del menú, desactivando la visibilidad de las piezas y activando únicamente la que corresponde al botón seleccionado, facilitando una exploración detallada de cada parte del modelo.

Finalmente, se generó un archivo APK (Paquete de Aplicación de Android®), el formato utilizado para distribuir e instalar aplicaciones en dispositivos móviles con sistema operativo Android®. La creación de este APK permite transferir la aplicación del entorno de desarrollo de Unity® a un formato accesible para los usuarios de forma autónoma.

```
void Start()
{
    // Posiciones originales
    posicionesOriginales = new Vector3[grupos.Length][];
    for (int i = 0; < grupos.Length; i++)
    {
        posicionesOriginales[i] = new Vector3[grupos[i].piezas.Length];
        for (int j = 0; j < grupos[i].piezas.Length; j++)
        {
            posicionesOriginales[i][j] = grupos[i].piezas[j].localPosition;
        }
    }

    // Funciones deslizantes
    if (sliderRotacion != null)
    {
        sliderRotacion.onValueChanged.AddListener(ActualizarRotacion);
    }

    if (sliderDespiece != null)
    {
        sliderDespiece.onValueChanged.AddListener(ActualizarDespiece);
    }
}
```

Figura 3. Script DespieceRotacion

de modelado donde cada componente, desde la base hasta los tornillos, fue creado con precisión, asegurando que los usuarios tengan una representación realista del proceso de despiece y movimiento.

Las Figuras 7 y 8 muestra una representación del entorno de la herramienta de RA diseñada. La misma brinda una experiencia efectiva en el proceso de enseñanza-aprendizaje, algo fundamental para la formación de personal operativo, dado que esto impacta de modo directo en la transferencia de habilidades del entorno virtual al físico.



Figura 7. Aplicación en realidad aumentada de la cortadora de carne

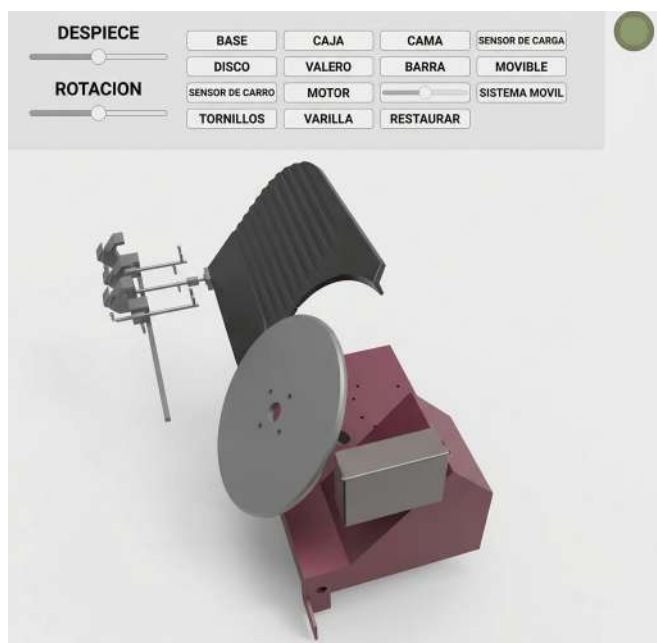


Figura 8. Simulación de despiece en realidad aumentada de la cortadora de carne

Una de las características destacadas es la vista explosionada, puesto que permite visualizar los componentes que, de manera tradicional, sería necesario desmontar de la máquina pieza por pieza, proceso que no solo lleva mucho tiempo, sino que, especialmente con maquinaria compleja como una cortadora, también puede ser riesgoso al manejar partes afiladas o causar daños irreversibles al equipo.

Con el diseño, desarrollo e implementación de un entorno virtual con realidad aumentada de la máquina cortadora de carne, que incluye la separación de componentes de forma organizada y etiquetada, se permite ver piezas que normalmente están ocultas dentro del ensamblaje (tanto de forma física como digital).

La realidad aumentada facilita la interacción con objetos que no están físicamente presentes, evitando el traslado de máquinas pesadas que dificulta la capacitación práctica en diversas ubicaciones. Por lo tanto, la aplicación de RA elimina la necesidad de mover físicamente equipos, haciendo que la capacitación pueda realizarse en cualquier lugar, siempre que se tenga acceso a la aplicación de RA.

CONCLUSIONES

La aplicación fortalece la capacitación técnica, reduce tiempo, costos y accidentes de entrenamiento; por otra parte, también elimina riesgos operativos asociados con el desmontaje físico de la maquinaria. El gemelo digital en realidad aumentada sirve como una alternativa viable en comparación con los métodos de capacitación tradicionales en campos técnicos, ofreciendo una forma segura y eficiente para que los estudiantes y/o operadores adquieran habilidades y conocimientos esenciales para trabajar con maquinaria compleja.

El mejoramiento de la comprensión, así como permitir la visualización de componentes con vista ampliada dentro de la cortadora de carne, proporciona un entorno de capacitación más seguro al eliminar la necesidad de que los usuarios interactúen físicamente con componentes peligrosos como cuchillas de corte, lo que previene el riesgo de laceraciones o percances mayores, como lesiones por aplastamiento, distensiones o esguinces que pueden ocurrir por manejo inadecuado de maquinaria peligrosa. Lo anterior es frecuentemente causado por falta de familiaridad con los componentes y su funcionalidad.

Por lo tanto, interactuar con objetos virtuales en un entorno de realidad aumentada fomenta la participación y proporciona a los usuarios nuevas tecnologías para facilitar y ampliar sus conocimientos. La implementación de esta herramienta interactiva no solo minimiza los riesgos de seguridad, sino que también permite abordar las limitaciones inherentes a la capacitación tradicional, como el uso exclusivo de manuales impresos o la manipulación de maquinaria física que puede ser costosa y logísticamente complicada, mientras que el gemelo digital, al estar empaquetado en un archivo APK, puede ser utilizado en cualquier lugar con un dispositivo móvil, eliminando la necesidad de

trasladar y/o adquirir equipos peligrosos, permitiendo una optimización de tiempo y recursos.

Al fomentar una experiencia de aprendizaje activo, a diferencia de la lectura de un manual tradicional, la manipulación del modelo 3D genera participación directa que mejora la retención del conocimiento. La aplicación no solo muestra los componentes, también simula el proceso de desensamblaje, permitiendo a los estudiantes practicar procedimientos de forma segura, a su propio ritmo y en cualquier lugar. Este método de enseñanza reduce la brecha entre la teoría y la práctica al preparar mejor a los futuros operadores e ingenieros para enfrentar los desafíos reales dentro del entorno industrial. La realidad aumentada, en este contexto, no solo

es una tecnología innovadora, sino un recurso para la formación técnica moderna que transforma un proceso riesgoso y complejo en uno seguro, eficiente y accesible.

A pesar de las ventajas que ofrecen los gemelos digitales en realidad aumentada en la formación técnica, debe reconocerse que el desarrollo presenta diferentes limitaciones que deben ser consideradas para su implementación, como la estabilidad y precisión del anclaje del modelo 3D, que están ligadas a factores externos como la luz y la calidad de la cámara, provocando una inestabilidad en el rastreo si el entorno de trabajo presenta sombras o reflejos en superficies metálicas.

REFERENCIAS

- Abad-Segura, E., González-Zamar, MD, Luque-de la Rosa, A., y Morales Cevallos, M.B. (2020). Sostenibilidad de las tecnologías educativas: Una aproximación a la investigación en realidad aumentada (Sustainability of Educational Technologies: An Approach to Research in Augmented Reality). *Sustainability*, 12(10), 4091. <https://doi.org/10.3390/su12104091>
- Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100532. <https://doi.org/10.1016/j.ssho.2023.100532>
- Asad, U., Khan, M., Khalid, A., & Lughmani, W. A. (2023). Human-Centric Digital Twins in Industry: A Comprehensive Review of Enabling Technologies and Implementation Strategies. *Sensors*, 23(8), 3938. <https://doi.org/10.3390/s23083938>
- Attaran, M. y Celik, B.G. (2023). Gemelo digital: beneficios, casos de uso, desafíos y oportunidades (Digital Twin: Benefits, Use Cases, Challenges, and Opportunities). *Decision Analytics Journal*, 6, 100165. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165>
- Bustamante-Limones, A., Rodríguez-Borges, C., & Pérez-Rodríguez, J. (2024). Evaluación del uso de gemelos digitales en los sistemas de producción (Evaluation of the Use of Digital Twins in Production Systems). *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 12(3), 195-204. <https://doi.org/10.15649/2346030X.4382>
- Chen, CP, y Wang, CH (2015). Employing Augmented-Reality-Embedded Instruction to Disperse the Imparities of Individual Differences in Earth Science Learning. *J Sci Educ Technol*, 24, 835-847. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9567-3>
- Fernandes, I.M., Pires, D.M., & Villamañán, R.M. (2014). Educación Científica con enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad-Ambiente. Construcción de un Instrumento de Análisis de las Directrices Curriculares (Scientific Education with a Science-Technology-Society-Environment Approach: Development of an Instrument for Analyzing Curriculum Guidelines). *Formación Universitaria*, 7(5), 23-32. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062014000500004>
- Jiang, Y, Kuan Li, Luo, H. & Kaynak, O. (2021). Aplicaciones industriales de gemelos digitales (Industrial applications of digital twins). *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 379 (2207). <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0360>
- Koumpourous, Y. (2024). Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education. *Smart Learn. Environ*, 11(2). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00288-0>
- Mendoza-Ramírez, C.E., Tudon-Martínez, J.C., Félix-Herrán, L.C., Lozoya-Santos, J. de J., & Vargas-Martínez, A. (2023). Realidad aumentada: Encuesta (Augmented Reality: Survey). *Applied Sciences*, 13(18), 10491. <https://doi.org/10.3390/app131810491>
- PTC. (2024). *Vuforia Engine: Realidad aumentada para aplicaciones interactivas* (Vuforia Engine: Augmented Reality for Interactive Applications). PTC. <https://www.ptc.com/es/products/vuforia/vuforia-engine>
- Qi, Q., y Tao, F. (2018). Gemelo digital y big data: hacia la fabricación inteligente y la industria 4.0: Comparación de 360 grados (Digital Twin and Big Data: Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0 – A 360-Degree Comparison). *IEEE Access*, 6, 3585-3593. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2793265>
- Rosen, R., von Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K.D. (2015). About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 567-572. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141>
- Saracco, R. (2019). Gemelos digitales: conectando el espacio físico y el ciberespacio (Digital Twins: Connecting Physical Space and Cyberspace). *IEEE Computer*, 52(12), 88-91. <https://doi.org/10.1109/MC.2019.2942803>
- Van Dinter, R., Tekinerdogan, B. y Catal, C. (2022). Mantenimiento predictivo mediante gemelos digitales: Una revisión sistemática de la literatura (Predictive Maintenance through Digital Twins: A Systematic Literature Review). *Information and Software Technology*, 151, 107008. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.107008>

- Xamanek Rocha Gómez, F.S. (2024). *Prototipado de dispositivo para corte de carne de res para el proceso de deshidratado por inducción electromagnética y baja presión* (Prototyping a Device for Beef Cutting for the Dehydration Process via Electromagnetic Induction and Low Pressure). [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Zacatecas].
- Yao, J.-F., Yang, Y., Wang, X.-C., & Zhang, X.-P. (2023). Systematic review of digital twin technology and applications. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, 6(10). <https://doi.org/10.1186/s42492-023-00137-4>
- Zafar, M.H., Langás, E.F. y Sanfilippo, F. (2024). Explorando las sinergias entre la robótica colaborativa, los gemelos digitales, la aumentación y la industria 5.0 para la fabricación inteligente: Una revisión de vanguardia (Exploring Synergies between Collaborative Robotics, Digital Twins, Augmentation, and Industry 5.0 for Smart Manufacturing: A Cutting-Edge Review). *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 89, 102769. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102769>

Gestión del riesgo por inundación aplicando el Modelo HEC-RAS en Microcuencas Urbanas

María Luisa Berenice Benito Díaz; Dora María Esther González Turrubiates; Rocío del Carmen Vargas Castilleja y Luis Álvaro Zavala Guerrero

RESUMEN

Los efectos del cambio climático han impactado de manera significativa; entre los fenómenos más evidentes se encuentran las sequías e inundaciones (IPCC, 2021). Derivado del aumento en la frecuencia e intensidad de lluvias extremas, las inundaciones han afectado con mayor severidad a las ciudades debido al acelerado crecimiento urbano, la impermeabilización del suelo y las limitaciones en la infraestructura hidráulica, incrementando su vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos extremos (IPCC, 2021). El objetivo de la investigación fue simular escenarios de inundación e identificar zonas de riesgo mediante el modelo hidráulico HEC-RAS en cuencas urbanas, utilizando como variables principales la topografía del terreno a partir de modelos digitales de elevación, la rugosidad del suelo, la precipitación máxima, así como la infraestructura hidráulica. El modelo se fundamenta en las ecuaciones de Saint-Venant, que representan la conservación de la masa y de la cantidad de movimiento para flujos en superficie libre (Chow, 1959). La simulación permitió la delimitación de las zonas críticas de encharcamiento, desbordamiento y la generación de mapas de inundación. El desarrollo de estos modelos es la base para una planificación territorial ordenada y preventiva, permitiendo desarrollar atlas urbanos de riesgo de inundación para la toma de decisiones en proyectos de ingeniería presentes y futuros.

Palabras clave: inundación, modelos hidráulicos, riesgo, lluvias, microcuencas urbanas.

Cómo citar: Benito, M., González, D., Vargas, R., Zavala, L. (2026). Gestión del riesgo por inundación aplicando el Modelo HEC-RAS en Microcuencas Urbanas. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto5>

Flood risk management applying the HEC-RAS Model in Urban Micro-Watersheds

ABSTRACT

The effects of climate change have had a significant impact; among the most evident phenomena are droughts and floods (IPCC, 2021). As a result of the increase in the frequency and intensity of extreme rainfall, floods have affected cities more severely due to accelerated urban growth, soil impermeabilization, and limitations in hydraulic infrastructure, increasing their vulnerability to extreme hydrometeorological events (IPCC, 2021). The objective of the research was to simulate flood scenarios and identify risk zones using the HEC-RAS hydraulic model in urban basins, using as main variables the terrain topography from digital elevation models, soil roughness, maximum precipitation, as well as hydraulic infrastructure. The model is based on the Saint-Venant equations, which represent the conservation of mass and momentum for free-surface flows (Chow, 1959). The simulation allowed the delimitation of critical zones of waterlogging, overflow, and the generation of flood maps. The development of these models is the basis for orderly and preventive territorial planning, allowing the development of urban flood risk atlases for decision-making in present and future engineering projects.

Keywords: flood; hydraulic models; risk; rainfall; urban micro-basins.

UAT-GD-174 Hidrología e Hidráulica Fluvial Marítima y Costera
UAT-CA-29 Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable
UAT-CA-134 Transversalidad Ambiental

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las inundaciones se han convertido en una de las principales preocupaciones para muchas regiones del mundo, con el constante crecimiento de la población y el aumento del valor de la infraestructura y bienes materiales (Truong et al., 2024, p. 1). Los países en desarrollo, con su alta susceptibilidad como consecuencia de las malas condiciones socioeconómicas y los asentamientos no planificados, se ven afectados de forma desproporcionada por estos desastres (Ennouini et al., 2024, p. 1). Durante su ocurrencia, el agua invade zonas que normalmente permanecen secas, afectando tierras de cultivo e infraestructura, obligando a las personas a abandonar sus hogares, interrumpiendo actividades económicas y, en el peor de los casos, provocando la aparición de enfermedades y la pérdida de vidas humanas (Nkwunonwo et al., 2020).

Dentro de la gran variedad de inundaciones, las inundaciones pluviales se problematizaron con base en el cambio de uso del suelo, la geomorfología, la falla de las instalaciones de drenaje urbano y la mala planificación urbana (Peker et al., 2024).

La zonificación de inundaciones constituye una herramienta clave para apoyar la reducción del riesgo de inundaciones en entornos urbanos. Este proceso consiste en delimitar y analizar la extensión y propagación del flujo de agua sobre la llanura aluvial, con el fin de identificar las áreas

susceptibles a inundarse (Khatooni et al., 2025). En este sentido, el mapeo de inundaciones representa una etapa clave dentro del proceso de evaluación del impacto potencial de estos eventos, ya que permite estimar el grado de exposición, orientar decisiones de inversión y respaldar la formulación de políticas de gestión y prevención del riesgo hídrico (Qian et al., 2024).

Estudios recientes destacan que la combinación de características topográficas, la velocidad del escurrimiento superficial, la capacidad de drenaje y los cambios en la cobertura del suelo determinan cuán severa puede ser la inundación. Por ejemplo, Ansarifard et al. (2024) estudiaron la cuenca de Khalkai, Irán, donde emplearon modelos hidráulicos e hidrológicos para simular inundaciones pluviales bajo distintos periodos de retorno (50, 100, 500 años), lo que permitió identificar la vulnerabilidad de áreas agrarias y urbanas.

Para comprender, cuantificar y prever los efectos de las inundaciones, sean de cauces fluviales o pluviales, se utilizan herramientas de modelación hidrológica e hidráulica como HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) para generar mapas de inundaciones, simular profundidades, velocidades de flujo y delimitar las llanuras de inundación para diferentes periodos de retorno (Tr). Amoussou et al. (2024) aplicaron el HEC-RAS para simular inundaciones excepcionales en el delta del río Ouémé,

Benín, pronosticando extensiones de inundación y alturas de inmersión que varían significativamente dependiendo del evento, lo que permitió orientar políticas públicas y medidas preventivas.

A nivel regional, estudios en México han comenzado a adoptar estos enfoques para evaluar inundaciones y formular recomendaciones de gestión del riesgo. En la cuenca Ciatepec, México, Arganis et al. (2023) aplicaron un método de regionalización para estudiar inundaciones repentinas (flash floods), empleando técnicas hidrometeorológicas y datos de cuenca, lo que permite anticipar las zonas susceptibles a inundaciones repentinas y mejorar alertas tempranas. También en la cuenca del río Santa Catarina, Monterrey, durante el huracán Alex, se generaron mapas de peligro de inundación utilizando modelos 2D de HEC-RAS y estimaciones de precipitación de sensores múltiples. Todo ello facilitó una caracterización espacial de inundaciones que puede servir para la toma de decisiones en situaciones de emergencia (Stella, 2025).

Las inundaciones representan un problema creciente y una amenaza global; el rápido crecimiento urbano y los cambios en el uso del suelo han llevado a la invasión de cauces naturales, afectando a poblaciones en diversas partes del mundo (Qian y otros, 2024). En este contexto, el peligro o amenaza se entiende, generalmente, como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino en un periodo determinado, cuya intensidad y frecuencia se expresan comúnmente mediante el periodo de retorno. La exposición hace referencia a la cantidad de personas, bienes e infraestructuras susceptibles de ser afectadas, mientras que la vulnerabilidad describe el grado de fragilidad o propensión de esos elementos a sufrir daños ante la ocurrencia del fenómeno. La combinación de estos factores determina el riesgo, entendido como la probabilidad de que un peligro se materialice en un desastre y genere consecuencias negativas (SGM, 2025).

La aplicación de medidas de mitigación, la evaluación de la vulnerabilidad, el análisis comparativo de riesgos y la elaboración de mapas de amenaza constituyen estrategias fundamentales para reducir los daños ocasionados por las inundaciones (Qian et al., 2024). La gestión del riesgo de inundaciones ha mostrado ser una herramienta clave para disminuir la exposición a los peligros asociados con este fenómeno. Gracias a su aplicación, se ha logrado prevenir la pérdida de vidas humanas durante eventos de inundación y reducir el impacto económico que sufren las comunidades y regiones afectadas (Disse et al., 2020).

Objetivo: Analizar el comportamiento hidrológico de la microcuenca Libramiento, estimando los gastos pico para diferentes periodos de retorno a partir de una modelación hidráulica mediante el software HEC-RAS durante una tormenta, y tomar las medidas necesarias para minimizar los impactos que pudieran afectar la zona.

METODOLOGÍA

Área de estudio: El área de estudio se encuentra sobre la región hidrológica No. RH25 San Fernando-Soto la Marina, cuenca Laguna de San Andrés-Laguna de Morales, subcuenca Laguna de San Andrés, en el municipio de Altamira, Tamaulipas, justo a un costado de la carretera Tampico-Mante, a 200 m aproximadamente del paso a desnivel "El Barquito", una estructura vial representativa en la zona (Figura 1). La microcuenca tiene un área total de 1.68 km², con una longitud de cauce de 1.10 km, y recibe aportaciones. En sus características de uso de suelo y vegetación predomina, en el noroeste, el suelo vertisol pélico y, en la parte sureste, cambisol cálcico y calcárico.



Figura 1. Localización de la microcuenca Libramiento en Altamira, Tamaulipas

La metodología empleada en este estudio se fundamenta en la integración de herramientas de modelación hidrológica e hidráulica que permiten representar de manera precisa el comportamiento del flujo superficial en la microcuenca de estudio (Figura 2). Es el caso del software HEC-RAS permite modelar con las ecuaciones de Saint-Venant 2D o ecuaciones de onda de difusión 2D para análisis 2D (Yunus & Fatih, 2025, p. 6). El modelado 2D de HEC-RAS utiliza un esquema de solución de volumen finito. El algoritmo de volúmenes

finitos completos permite trabajar con pasos de cálculo más grandes que otros métodos (USACE, 2025).

Los modelos hidráulicos emplean el caudal como dato de entrada y permiten simular el comportamiento del agua al desplazarse por ríos, llanuras de inundación o entornos urbanos. A través de las ecuaciones hidrodinámicas, posibilita estimar variables clave del fenómeno, como la profundidad, la velocidad y la extensión del flujo durante un evento de inundación (Plata-Rocha et al., 2025, p. 4).

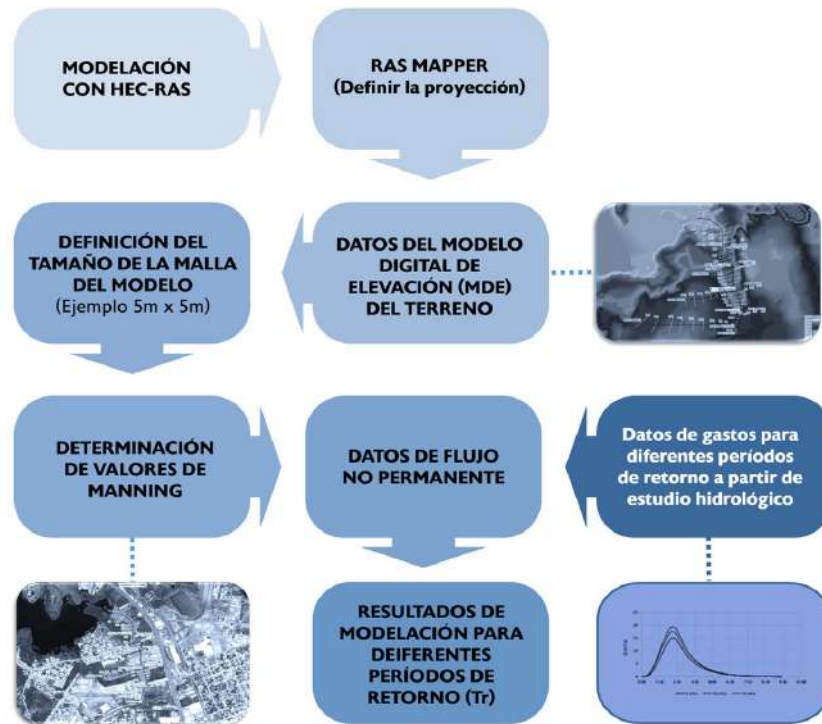


Figura 2. Diagrama metodológico utilizado para la modelación en HEC-RAS (Peker y otros, 2024)

Modelación con HEC-RAS

• Modelo Digital de Elevación

Se empleó un Modelo Digital de Elevación (DEM) obtenido del Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), proyectado adecuadamente en este estudio; se utilizaron las coordenadas UTM Zona 14N, que sirvió como base para la representación cartográfica de la microcuenca y la delimitación de los cauces principales. Este modelo permitió generar mapa de pendientes y de la red de drenaje, importantes para el modelo hidráulico.

La geometría del modelo se construyó en Rasmapper y el editor HEC-RAS, utilizando el DEM para representar la superficie del terreno. De manera complementaria, se incorporó información topográfica detallada del canal principal, así como la ubicación geoespacial de estructuras (puentes y alcantarillas), con el fin de mejorar la precisión del modelo y representar las condiciones reales del flujo.

• Determinación de los valores de Manning

En la determinación de los valores de Manning son esenciales algunos aspectos que no deben ser descuidados. La calibración de un modelo numérico de inundaciones se basa principalmente en la asignación adecuada del coeficiente de rugosidad. Este punto es esencial en estos estudios dado que este parámetro incide de manera directa en la estimación de la velocidad y la profundidad del flujo. Por ello, su determinación precisa resulta esencial para lograr una configuración confiable y representativa del comportamiento hidráulico del modelo (Toapaxi-Álvarez, 2021).

Asimismo, para la cobertura vegetal (LandCover) y las características superficiales del terreno, se utilizó el shape de edafología de INEGI, el cual fue recortado con base en el contorno de la microcuenca. Esta información permitió asignar valores de rugosidad (Coeficientes de Manning) de acuerdo con los tipos de suelo, lo que hizo posible realizar una simulación más realista del comportamiento hidráulico dentro del modelo.

- **Análisis de la información climatológica y estimación de gastos**

La primera parte del estudio contempla el análisis de los registros de lluvias máximas en 24 h de las estaciones cercanas al área de estudio, cuyo registro debe superar los 30 años para considerarse confiable; posteriormente, se calculará la tormenta máxima de diseño para diferentes periodos de retorno. Un método adecuado para elegir la lluvia de diseño es la aplicación de las diferentes funciones de distribución de probabilidad y, a partir de la función que presente un mejor ajuste de los datos medidos, se podrá seleccionar esta para la extrapolación de los datos de lluvia. Las funciones de probabilidad más usuales en la práctica, y que se mencionan a continuación, son: Normal, lognormal, Gumbel, exponencial, gamma y doble Gumbel.

Una vez analizada la precipitación máxima en 24 h para la lluvia de diseño y las características fisiográficas de la cuenca en estudio, se procede al cálculo de la avenida máxima probable para diferentes periodos de retorno mediante los métodos hidrológicos y empíricos más usuales en la práctica, como son: hidrograma unitario triangular, Ven Te Chow y racional.

- **Datos para la configuración del modelo**

Para los datos de flujo en el modelo de HEC-RAS 2D se integran los resultados del estudio hidrológico (hidrogramas o gastos) para diferentes periodos de retorno y se definen las condiciones de frontera aguas arriba (entrada). Se construye la geometría del modelo a partir del DEM y la generación de la malla; las condiciones de frontera para aguas abajo se definen mediante la descarga o niveles fijos. Configurados los parámetros hidráulicos y las estructuras hidráulicas presentes en el área de estudio, se realiza la simulación empleando las ecuaciones de Saint-Venant..

- **Validación del modelo**

Finalmente, se efectúa la validación del modelo comparando los resultados simulados con los registros históricos o datos observados, ajustando los parámetros para mejorar la representatividad del comportamiento hidrodinámico (El-Bagoury & Gad, 2024).

- **Mapas de peligro y escenarios de inundación**

La elaboración de mapas de peligro se sustenta en tres componentes fundamentales que proporcionan la información básica necesaria para construir el modelo numérico de escurrimientos superficiales.

El primero corresponde al análisis de la precipitación, cuyo propósito es caracterizar la distribución espacial y temporal de la lluvia para definir el evento de diseño.

El segundo considera la infraestructura urbana, así como la configuración topográfica del área de estudio, factores que condicionan el comportamiento del flujo.

Finalmente, el tercero comprende la delimitación de subcuencas y microcuencas, integrando parámetros geomorfológicos como el área, el perímetro, el ancho y

la longitud del cauce principal (Alcocer-Yamanaka et al., 2016, pp. 36–37).

El mapa de peligro se genera para cada periodo de retorno, considerando los tirantes y velocidades calculados con el modelo numérico (Tabla 1).

Tabla 1.

Criterios establecidos para la generación del mapa de peligro por inundación (IMTA, 2015)

NIVEL DE PELIGRO	ALTURA (m)	VOLCAMIENTO (m ² /s)	DESPLAZAMIENTO (m ³ /s ²)
Nulo	$h < 0.3$	$vh < 0.3$	$v^2h < 0.3$
Bajo	$0.3 \geq h < 0.5$	$0.3 \geq vh < 0.5$	$0.3 \geq v^2h < 0.5$
Medio	$0.5 \geq h < 1.5$	$0.5 \geq vh < 1.5$	$0.5 \geq v^2h < 1.5$
Alto	$h \geq 1.5$	$vh \geq 1.5$	$v^2h \geq 1.5$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la metodología aplicada para la simulación del modelo en HEC-RAS 2D, considerando los Tr de 20 y 50 años, así como la profundidad, velocidad y extensión de la lámina de agua, además de identificar las zonas susceptibles a inundación.

En el área de estudio, las elevaciones del terreno presentan un rango que varía entre 7 y 10 m s. n. m. en la parte superior o corona del canal, tomando como referencia el terreno natural. La plantilla del cauce se encuentra a cotas menores, que oscilan entre 6 y 5 m s. n. m., lo que refleja una pendiente suave a lo largo de su recorrido (Figura 3).



Figura 3. Modelo Digital de Elevación de la zona de estudio

El canal natural exhibe una sección transversal variable, con anchos en la plantilla que fluctúan entre 2.5 y 4 m, adaptándose a las condiciones locales del relieve en el tramo. En la parte aguas abajo, se localiza una estructura de cruce tipo puente, compuesta por doce tuberías circulares, que funcionan como obras de drenaje para permitir el paso del flujo y mantener la continuidad hidráulica del sistema.

Utilizando la información topográfica recopilada tanto en campo como en gabinete, así como los caudales de diseño obtenidos del estudio hidrológico, se procedió a desarrollar la modelación hidráulica con el fin de simular el comportamiento del flujo superficial ante eventos hidrometeorológicos representativos y así evaluar la capacidad hidráulica del cauce natural, identificar zonas de riesgo por desbordamiento y proponer soluciones de control pluvial en el predio destinado al proyecto.

• **Perfil de superficie de agua**

El canal presenta una geometría altamente variable, característica de un cauce natural. A lo largo del perfil longitudinal se observan cambios abruptos en la sección transversal, incluyendo zonas con escalones o transiciones marcadas alrededor de las estaciones 450 m y 1 000 m, las cuales corresponden a estructuras hidráulicas existentes (como puentes o cruces de infraestructura) o a modificaciones en el perfil del terreno.

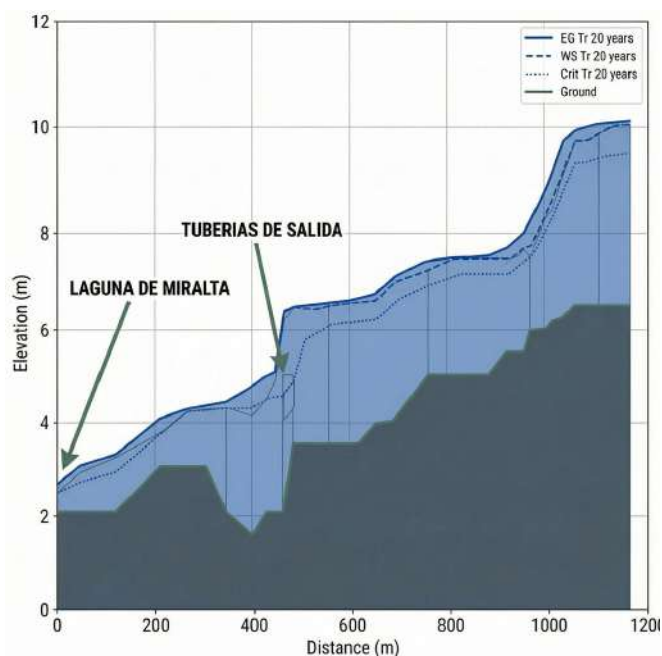


Figura 4. Vista del perfil longitudinal del canal para un TR de 20 años

• **Estimación de gastos pluviales**

A continuación se presentan los resultados del análisis probabilístico, donde se extrapolan los valores, obteniéndose las lluvias para los diferentes Periodos de Retorno (Tr) (Tabla 2).

Aplicando el factor de Corrección por Intervalo Fijo de Observación (I.F.O.) a los valores de la Tabla 2, se multiplicará por 1.13 para ajustarlo (Tabla 3).

Tabla 2.

Lluvias máximas para diferentes periodos de retorno (Tr) tomadas del análisis de lluvias máximas en 24 hs observadas en la estación Altamira

Tr años	Hpmax 24 mm
2	102.6
5	174.92
10	211.54
20	233.35
50	258.43

Tabla 3.

Corrección de lluvias máximas en 24 h, para periodos de retorno observadas en la estación Altamira

Tr años	Hpmax 24 mm	I.F.O	PCP Max 24 hrs CORREGIDO
2	102.6	1.13	115.94
5	174.92	1.13	197.66
10	211.54	1.13	239.04
20	233.35	1.13	263.68
50	258.43	1.13	292.03

Se realizaron los cálculos del gasto máximo de diseño empleando tres métodos hidrológicos distintos (hidrograma unitario triangular, Ven Te Chow y Racional), con el propósito de comparar sus resultados y seleccionar el valor más representativo para la cuenca en estudio (Tabla 4).

Tabla 4.

Gasto adoptado para diferentes periodo de retorno

Tr años	Qmax m ³ /s
2	17.77
5	21.04
10	28.98
20	56.5
50	84.4

• **Identificación de zonas inundables**

Los resultados de la modelación hidráulica reflejan la distribución espacial de las zonas susceptibles a inundaciones dentro de la cuenca o área de interés. las mismas consideran factores topográficos, hidrológicos y climáticos. La llanura de inundación que corresponde a un Tr de 20 años abarca un total de 21.78 ha (Figura 5), mientras que para un Tr de 50 años se extiende a 23.53 ha (Figura 6).

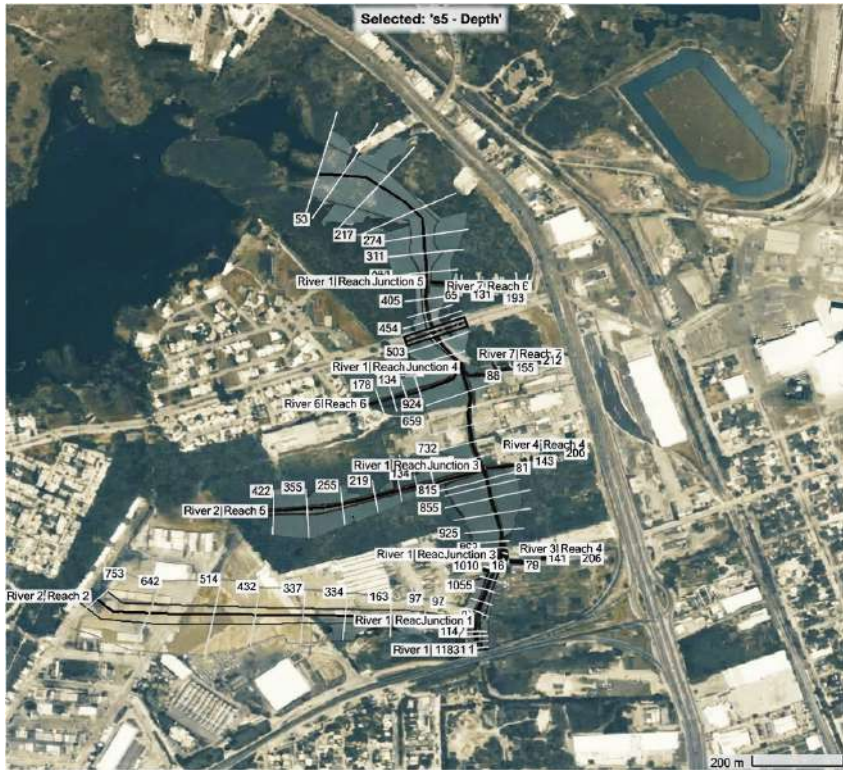


Figura 5. Representación espacial de la llanura de inundación asociada a un período de retorno de 20 años. El sombreado indica las áreas con mayor exposición al riesgo de inundación



Figura 6. Representación espacial de la llanura de inundación asociada a un período de retorno de 50 años. El sombreado indica las áreas con mayor exposición al riesgo de inundación



Figura 7.
Profundidades de inundación para Tr de 20 años

• **Profundidad hidráulica**

Para el estudio de la profundidad hidráulica, el modelo Depth refiere a la profundidad hidráulica del agua medida desde la superficie libre del agua hasta el terreno o fondo del canal en una sección transversal específica. Sobre esta base, este mapa representa la simulación de profundidades de inundación generadas con HEC-RAS para un evento con periodo de retorno de 20 años (Tr20) que alcanza profundidades máximas de hasta 3.76 m (Figura 7).

Las zonas más profundas tienden a localizarse en cauces principales y puntos de confluencia, mientras que las áreas sin sombreado representan sectores no afectados bajo este escenario de diseño. Para Tr de 50 años, se alcanza una profundidad máxima de 4.33 m; los resultados se superponen sobre una imagen satelital georreferenciada, permitiendo identificar con precisión zonas urbanas, viales e industriales afectadas por el evento (Figura 8).

En este caso, también las zonas más profundas tienden a localizarse en cauces principales y puntos de confluencia, mientras que las áreas sin sombreado representan sectores no afectados bajo este escenario de diseño. Este resultado permite identificar zonas vulnerables y verificar la capacidad hidráulica de la red modelada frente a un evento de $Tr = 20$, facilitando la evaluación de medidas de mitigación o ajuste de obras existentes. En la sección 448, aguas abajo, corresponde a un cruce con una estructura formada por 12 tuberías de concreto; el diámetro de los ductos es de 0.58 m. Para un periodo de retorno de 20 años, el modelo

hidráulico indica que el flujo no se desborda, es decir, el nivel del agua no supera la rasante del camino superior del cruce, lo que implica que la estructura contiene el caudal de diseño (Figura 9).



Figura 8.
Profundidades de inundación para Tr de 20 años

Para un periodo de retorno de 20 años, el modelo hidráulico indica que el flujo no sobrepasa la vialidad; sin embargo, para el periodo de 50 años se observa que existe desbordamiento que puede alcanzar profundidades de hasta 0.56 m (Figura 9).

Tanto aguas arriba como aguas abajo, para estos periodos de retorno, las tuberías se encuentran completamente llenas, lo que indica que están trabajando en régimen de flujo a presión; esta condición representa un funcionamiento en su máxima capacidad.

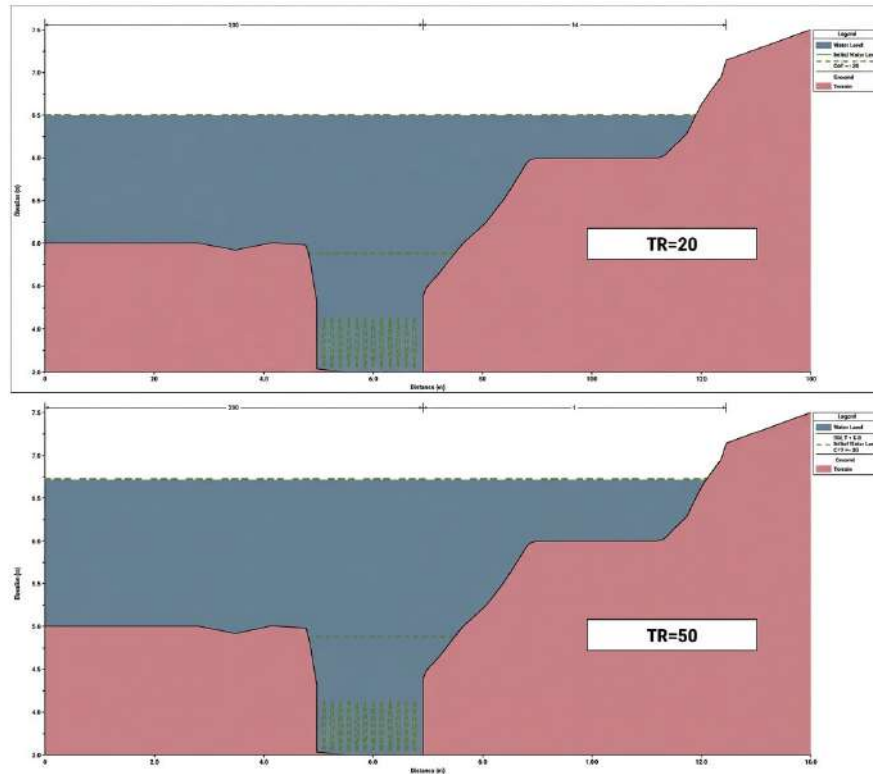


Figura 9. La sección 448 aguas arriba, corresponde a un cruce con una estructura formada por 12 tuberías de concreto

Además, se observa que el flujo supera la línea crítica, lo cual implica que el régimen del flujo es supercrítico, es decir, el agua fluye con alta velocidad y baja profundidad relativa, lo que puede estar asociado a una transición hidráulica abrupta o a un flujo controlado aguas abajo. Este tipo de flujo puede generar inestabilidad, socavación en la estructura y riesgos estructurales o de inundación aguas arriba.

Para un periodo de retorno de 50 años ($Tr = 50$ años), el análisis hidráulico muestra que el flujo supera la capacidad hidráulica de las tuberías y rebasa la rasante del puente, lo que indica una condición de desbordamiento.

Además, se observa que el flujo supera la línea crítica, lo cual implica que el régimen del flujo es supercrítico, es decir, el agua fluye con alta velocidad y baja profundidad relativa (Figura 10), lo que puede estar asociado a una transición hidráulica abrupta o a un flujo controlado aguas abajo, la velocidad máxima alcanzada es de 4.57 m. Este tipo de flujo puede generar inestabilidad, socavación en la estructura y riesgos estructurales o de inundación aguas arriba.

Los resultados obtenidos para el período de retorno de 20 años muestran que las profundidades de inundación varían entre 0 y 3.76 m, mientras que las velocidades del

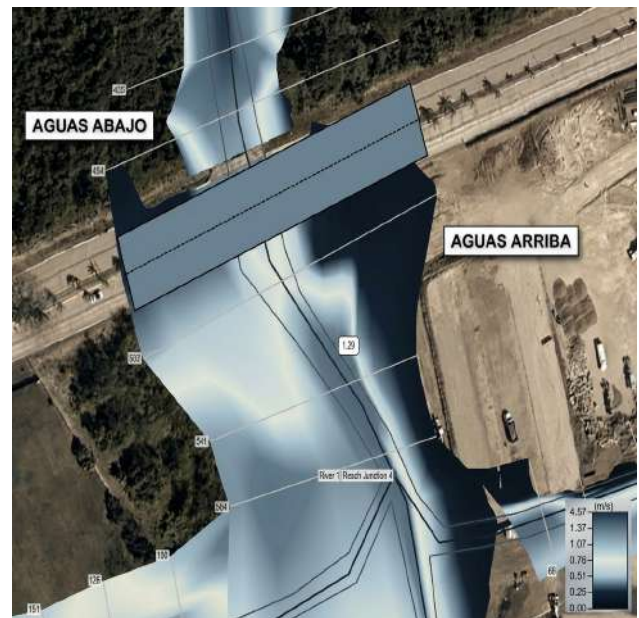


Figura 10. Velocidades en el seccionamiento 448 aguas arriba

flujo oscilan entre 0 y 4.49 m/s (Figura 11). Con base en los criterios de clasificación de peligro establecidos, fueron identificadas zonas con diferentes niveles de afectación.

De acuerdo con lo anterior, las áreas con nivel de peligro nulo o bajo corresponden principalmente a sectores con tirantes menores a 0.5 m y velocidades reducidas, donde el impacto del flujo es limitado. Sin embargo, se observan zonas de peligro medio en sectores donde el tirante supera 0.5 m y la velocidad se incrementa, generando condiciones propicias para el volcamiento parcial de estructuras o peatones.

Finalmente, las zonas de peligro alto se localizan en áreas con profundidades mayores a 1.5 m y velocidades superiores a 1.5 m/s, alcanzando en algunos puntos valores cercanos a 4.49 m/s, lo que implica un riesgo considerable de inestabilidad, deslizamiento y arrastre de personas o vehículos.



Figura 11.
Velocidades para un Tr de 20 años.

Para el evento de 50 años de período de retorno, los tirantes alcanzan valores máximos de 4.33 m y las velocidades varían de 0 a 4.95 m/s (Figura 12), lo que evidencia tanto el aumento de la magnitud como de la extensión de las áreas inundadas respecto al evento de 20 años. En consecuencia, las zonas clasificadas como de peligro alto se amplían significativamente debido al incremento simultáneo de la velocidad y la profundidad, condiciones que favorecen el volcamiento y el deslizamiento según los umbrales establecidos.

En este sentido, las áreas con peligro medio se distribuyen a lo largo de los cauces y zonas de transición hacia terrenos urbanos, mientras que las de peligro bajo se asocian a márgenes elevadas con tirantes entre 0.3 y 0.5 m.

En conjunto, los resultados que se han obtenido confirman que el incremento del período de retorno intensifica el riesgo de inundación, tanto por mayores profundidades como por el aumento de la energía del flujo, representando un escenario de impacto potencialmente más severo para la población e infraestructura.



Figura 12.
Velocidades para un Tr de 20 años.

CONCLUSIONES

La aplicación del modelo HEC-RAS en microcuencas urbanas ha demostrado ser una herramienta eficaz para la gestión del riesgo por inundación, al permitir la simulación detallada del comportamiento hidráulico ante distintos escenarios de precipitación y períodos de retorno. A través de su implementación, es posible identificar con precisión las zonas más propensas a inundarse, cuantificar los tirantes y velocidades del flujo y generar mapas de peligro que han de facilitar la evaluación de la exposición y vulnerabilidad de la población y la infraestructura.

Con base en el estudio hidrológico realizado para definir los caudales de entrada al modelo HEC-RAS, así como en la topografía del terreno y las secciones transversales del canal integradas en el modelo, se llevó a cabo la simulación hidráulica para períodos de retorno de 20 y 50 años.

Los resultados muestran que, para un Tr = 50 años, la cota máxima de la superficie del agua alcanza los 8.68 msnm en la sección aguas arriba (cadenamiento 1010). Esta elevación deja un bordo libre de solo 0.32 m respecto a la rasante (9.00 msnm), lo que representa una condición hidráulicamente crítica, con alto riesgo de desbordamiento ante cualquier incremento adicional del caudal o por obstrucciones. Aguas abajo del cruce, el flujo es conducido por 12 tuberías de 0.58 m de diámetro, las cuales operan completamente llenas durante los eventos de diseño, generando un efecto de represamiento que contribuye a elevar los niveles de agua aguas arriba. Esta situación compromete la seguridad hidráulica del sistema en la zona de estudio.

Adicionalmente, se identificó que, en la margen derecha del cauce, en dirección hacia la Central de Abastos, la topografía presenta una pendiente más suave o reducida, lo que

propicia una acumulación localizada de agua en esa área durante eventos de lluvia intensa, aumentando el riesgo de encharcamientos o inundaciones.

La gestión del riesgo por inundación apoyada en el modelado numérico representa una práctica indispensable para reducir los impactos sociales y económicos de las crecidas en microcuencas urbanizadas.

Una de las limitantes para este estudio es que la resolución y exactitud del Modelo Digital de Elevación (DEM) influyen directamente en la representación del relieve y, por ende, en la correcta simulación del flujo superficial; pequeñas imprecisiones topográficas pueden generar errores en la delimitación de zonas inundables. Asimismo, la disponibilidad y calidad de los datos hidrológicos, como registros de precipitación y caudales observados, pueden ser limitadas o discontinuas, lo que afecta la confiabilidad del hidrograma de entrada.

Otra limitante importante radica en las suposiciones del modelo hidráulico, que, aunque robustas, se basan en condi-

ciones ideales y en la homogeneidad de parámetros como la rugosidad de Manning o las condiciones de contorno, los cuales en la realidad pueden variar espacial y temporalmente. Además, el modelo no considera factores dinámicos como la sedimentación, la obstrucción parcial de estructuras o el efecto de la vegetación durante eventos extremos, que podrían modificar significativamente la respuesta hidráulica.

Finalmente, ha de tenerse en cuenta que la calibración y validación del modelo está en dependencia de la existencia de información histórica de eventos de inundación. Esta información, generalmente, es escasa o inexistente. Es por esta razón que aunque los resultados obtenidos permiten comprender el comportamiento general del sistema y evaluar escenarios de riesgo, deben interpretarse como una aproximación técnica sujeta a incertidumbre y complementarse con verificación en campo y análisis de sensibilidad para garantizar su aplicación confiable en la gestión del riesgo por inundaciones.

REFERENCIAS

- Alcocer-Yamanaka, V.H., Rodríguez-Varela, J.M., Bourguett-Ortiz, V.J., Llaguno-Guilberto, O.J., & Alborno-Góngora, P.M. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas (Methodology for Generating Flood Risk Maps in Urban Areas). *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 33-55. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500033&lng=es&tlng=es
- Amoussou, E., Amoussou, F.T., Bossa, A.Y., Kodja, D.J., Totin Vodounon, H.S., Houndénou, C., Borrell Estupina, V., Paturrel, J.-E., Mahé, G., Cudennec, C., & Boko, M. (2024). Use of the HEC RAS model for the analysis of exceptional floods in the Ouémé basin. *Proc. IAHS*, 385, 141-146. <https://doi.org/10.5194/piahs-385-141-2024>
- Ansarifard, S., Eyvazi, M., Kalantari, M., Mohseni, B., Ghorbanifard, M., Moghaddam, H. J., & Nouri, M. (2024). Simulation of floods under the influence of effective factors in hydraulic and hydrological models using HEC-RAS and MIKE 21. *Discover Water*, 4(92). <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00155-0>
- Arganis, M., Preciado, M., De Luna, F., Cruz, L., Domínguez, R., & Santana, O. (2023). Application of a Regionalization Method for Estimating Flash Floods: Cuauhtec Basin, Mexico. *Water*, 15(2), 303. <https://doi.org/10.3390/w15020303>
- Disse, M., Johnson, T.G., Leandro, J., & T. Hartmann. (2020). Exploring the relation between flood risk management and flood resilience. *Water Security*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100059>
- El-Bagoury, H., & Gad, A. (2024). Integrated hydrological modeling for watershed analysis, flood prediction, and mitigation using meteorological and morphometric data, SCS-CN, HEC-HMS/RAS, and QGIS. *Water*, 16(2), 356. <https://doi.org/10.3390/w16020356>
- Ennouini, W., Fenocchi, A., Petaccia, G., Persi, E., & Sibilla, S. (2024). A complete methodology to assess hydraulic risk in small ungauged catchments based on HEC-RAS 2D Rain-On-Grid simulations. *Natural Hazards*, 7381-7409. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06515-2>
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) (2015). *Estudio de riesgos de inundaciones en zonas urbanas de la república mexicana del Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua (FSIDSA) Conagua-Conacyt* (Flood Risk Study in Urban Areas of the Mexican Republic by the Sectoral Fund for Research and Development on Water Conagua-Conacyt). <https://www.gob.mx/imta/articulos/estudio-de-riesgos-de-inundaciones-en-zonas-urbanas-de-la-republica>
- Khatooni, K., Hooshyaripor, F., Bahram Malek Mohammadi, B. & Noori, R. (2025). A new approach for urban flood risk assessment using coupled SWMM-HEC-RAS-2D model. *Journal of Environmental Management*, 374. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123849>
- Nkwunonwo, U.C., Whitworth, M., & Baily, B. (2020). A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the developing countries. *Scientific African*, 7, e00269. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00269>
- Peker, İ.B., Gülbaz, S., Demir, V., Orhan, O., & Beden, N. (2024). Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in Flood Modeling and Flood Hazard Mapping. *Sustainability*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/su16031226>
- Plata-Rocha, W., Avila-Aceves, E., Monjardín-Armenta, S.A., Pérez-Aguilar, L.Y., Rangel-Peraza, J.G., & Zambrano-Medina, Y.G. (2025). Urban flood modeling using hydrograph and Rain-on-Grid approaches with HEC-HMS and HEC-RAS: A case study of the Culiacán River. *South American Earth Sciences*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105694>
- Qian, Q., Edwards, D.J., Zhang, Y., & Haselbach, L. (2024). Improving Flood Inundation Mapping Accuracy Using HEC-RAS Modeling: A Case Study of the Neches River Tidal Floodplain in Texas. *Journal of Hydrologic Engineering*, 29(4). <https://doi.org/10.1061/JHYEFF.HEENG-6037>

- SGM (Servicio Geológico Mexicano) (2025). *Peligros y riesgos por fenómenos naturales* (Hazards and Risks from Natural Phenomena). [Archivo PDF]. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157799/Peligros-y-Riesgos.pdf>
- Stella, J.M. (2025). Modelling flood map during Alex hurricane: Simulation enforced by multisensory precipitation in the city of Monterrey, Mexico. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 16(5), 97-134. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2025-05-03>
- Toapaxi-Álvarez, J.A. & Acero Quilumbaquin, A. (2021). Análisis de Inundación por Rotura de Presa Utilizando el Modelo HEC-RAS 2D: Caso de Estudio de la Presa Mulacorral, Provincia de Tungurahua, Ecuador. *Revista Politecnica*, 48(1), 51-64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol48n1.05>
- Truong, C., Malavasi, M. & Goldstein, M.A. (2024). Timing is (almost) everything: Real options, extreme value theory, climate adaptation, and flood risk management. *Journal of Environmental Management*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122621>
- USACE (US Army Corps of Engineers) (2025). *Manual del usuario de HEC-RAS 2D* (HEC-RAS 2D User's Manual). <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/r2dum/latest/development-of-a-2d-or-combined-1d-2d-model/development-of-the-2d-computational-mesh>
- Yunus, Z.K., & Fatih, Ü. (2025). Comparison of three different satellite data on 2D flood modeling using HEC-RAS (5.0.7) software and investigating the improvement ability of the RAS Mapper tool. *Journal Flood Risk Management*, 18(1). <https://doi.org/10.1111/jfr3.13046>

Estudio bibliométrico de la producción científica de los investigadores SNII de la Universidad Autónoma de Zacatecas: 2019-2023

María Elena Luna Morales ; Laura Alejandra Dávila Sánchez; Evelia Luna Morales

RESUMEN

La necesidad de información que presenta la comunidad académica ha sido un reto para cualquier centro dedicado a ofrecer servicios de asesoría y recuperación de documentos, sobre todo cuando se trata de recursos que implican un costo. Es por ello que los repositorios institucionales se han convertido en principales fuentes de información para la comunidad científica. Con base en lo anterior, en este trabajo se analizó la producción científica de los investigadores de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ) que formaron parte del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) en el periodo de 2019 a 2023, para determinar su contribución en el repositorio Caxcán, en comparación con las publicaciones que registran en las bases de datos Web of Science (WoS) y Scopus. Se aplicó el método bibliométrico cuantitativo, que toma la referencia bibliográfica como elemento de análisis. Microsoft Excel fue la principal herramienta de apoyo, por las ventajas que ofrece en la disposición de la estructura de datos, completar y normalizar los campos de observación. En el periodo analizado, el SNII reconoce para Zacatecas un total de 524 investigadores vigentes. Entre ellos, el 59.92 % corresponde al género masculino, mientras que el femenino representa el 40.08 %. En total, se localizaron en el Repositorio Caxcán 1 249 trabajos de investigadores SNII, en Scopus 1 190 y en WoS 1 822. En las tres fuentes de datos sobresalen las publicaciones de Ciencias Sociales, Humanidades, Ingeniería, Física, Química y Ciencias Biológicas y de la Salud. Como limitación se encontró que el 50.60 % de los investigadores no registra ningún trabajo en Caxcán.

Palabras clave: producción científica, investigadores SNII, repositorio Caxcán, estudio bibliométrico, Zacatecas-México.

Cómo citar: Luna, M., Dávila, L., Luna, E. (2026). Estudio bibliométrico de la producción científica de los investigadores SNII de la Universidad Autónoma de Zacatecas: 2019–2023. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto6>

Bibliometric study of the scientific production of SNII researchers at the Autonomous University of Zacatecas: 2019-2023

ABSTRACT

The academic community's need for information has posed a challenge for any center dedicated to providing advisory and document retrieval services, especially when dealing with resources that involve a cost. For this reason, institutional repositories have become primary sources of information for the academics. This study analyzed the scientific output of researchers from the Autonomous University of Zacatecas (UAZ) who were members of the National System of Researchers (NSR) from 2019-2023, to determine their contribution to the Caxcán repository, in comparison with their publications registered in the Web of Science (WoS) and Scopus databases. A quantitative bibliometric method was applied, which uses bibliographic references as the element of analysis. Microsoft Excel was the main support tool, due to its advantages in organizing the data structure and completing and standardizing the observation fields. During the period analyzed, the National System of Researchers recognizes a total of 524 active researchers in UAZ, of these, 59.92 % are male, while 40.08 % are female. A total of 1 249 works by SNII researchers were located in the Caxcán Repository, 1 190 in Scopus, and 1 822 in Web of Science (WoS). Publications in the Social Sciences, Humanities, Engineering, Physics, Chemistry, and Biological and Health Sciences are prominent in all three data sources. A limitation found was that 50.60 % of the researchers did not have any publications registered in Caxcán.

Keywords: scientific production, SNII researchers, Caxcán Repository, Bibliometric study, Zacatecas-Mexicos.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la producción académica se está convirtiendo en uno de los indicadores más relevantes para la evaluación de la actividad científica; México no es ajeno a este tipo de análisis, los cuales se realizan en distintos niveles: institucional, organizacional, estatal y nacional.

La Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) es el organismo encargado de promover el desarrollo científico en el país. Para ello, se apoya en diversos programas orientados a alcanzar objetivos dirigidos al fortalecimiento de la ciencia nacional. Entre estos programas destaca el Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII), que fue fundado en 1984 con el propósito de reconocer el trabajo de sus integrantes mediante la asignación de distintos nombramientos: Candidato, Nivel 1, Nivel 2, Nivel 3 y Emérito. Dichas categorías son otorgadas tras un proceso de evaluación a cargo de comisiones especializadas en las diferentes áreas del conocimiento.

Cabe destacar que, a partir de 2024, se implementaron cambios en el proceso de evaluación para el ingreso, permanencia y otorgamiento de emeritazgos. Estas modificaciones consideran la incorporación de nuevas instancias de decisión, tales como un Consejo General, una Secretaría Ejecutiva y una Secretaría Técnica, así como diversos órganos consultivos y una Junta de Honor (Pérez Piñón, 2025, pp. 8-9). Todo ello con el objetivo de otorgar mayor veracidad y transparencia al proceso.

Asimismo, es ampliamente conocido que los investigadores adscritos al sistema nacional tienen la responsabilidad de mantenerse en constante formación, con el fin de cumplir con los requisitos que exige dicho nombramiento. Estos últimos incluyen la publicación de resultados, el desarrollo de proyectos, la formación de nuevos recursos humanos en el campo de estudio, la divulgación científica y, sobre todo, la generación de beneficios sociales a través de la ciencia y tecnología que producen (Estrada y Mateos, 2024). No obstante, los productos de investigación generados por miembros del SNII suelen evaluarse desde distintos enfoques, con el propósito de analizar sus aportaciones tanto a la ciencia nacional como a sus instituciones de adscripción. En este sentido, los estudios bibliométricos constituyen una herramienta útil para examinar tendencias de publicación, productividad académica, áreas temáticas predominantes y redes de colaboración científica. También permiten identificar fortalezas y áreas de oportunidad dentro de las universidades, ofreciendo información clave para la toma de decisiones estratégicas; así como para el desarrollo de políticas institucionales y nacionales en materia de investigación y gestión del conocimiento (Zerón Félix et al., 2022). Además, para el desarrollo de sus investigaciones, los académicos requieren información confiable, es decir, fuentes de datos que garanticen la búsqueda y recuperación de literatura pertinente y relacionada con los temas abordados en

sus estudios. En consecuencia, profesores e investigadores recurren a bases de datos, tanto comerciales como de acceso libre o gratuito, que les permitan consultar dicha información. En este contexto, los repositorios institucionales se han convertido en recursos fundamentales, al proporcionar acceso a las publicaciones generadas por el propio organismo que los administra.

Por otra parte, la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), como institución pública de educación superior, ha incrementado su producción científica en los últimos años, y diversificado sus líneas de investigación contribuyendo a la promoción de la participación de sus investigadores en el SNII. Sin embargo, a pesar de ser una de las universidades más relevantes en el estado, con una amplia oferta educativa que atiende a estudiantes en 16 municipios mediante sus diferentes programas y espacios académicos, carece de estudios bibliométricos que evalúen dichos avances. Hasta la fecha, solo se han registrado un capítulo de libro y un artículo académico relacionados con el tema: el primero aborda la situación laboral de los investigadores (Acosta y Aguilar, 2013), mientras que el segundo analiza los retos y dificultades que enfrentan las mujeres científicas al incorporarse al SNII, siendo además parte del cuerpo docente (Cervantes et al., 2024).

ANTECEDENTES

La bibliometría en la evaluación de la ciencia

La bibliometría es una disciplina que aplica “métodos matemáticos y estadísticos al análisis de libros y otras formas de comunicación en la ciencia” (Pritchard, 1969, como se citó en Luna Morales et al., 2022, p. 14), con la finalidad de evaluar la producción científica, identificar patrones de publicación y medir el impacto de la actividad investigadora. Por lo tanto, mediante esta herramienta resulta posible examinar el comportamiento de la comunicación científica en distintas áreas del conocimiento, proporcionando información útil para la gestión académica y la toma de decisiones institucionales.

Así pues, el eje central de este tipo de estudios es la producción científica, la cual se define del siguiente modo:

La forma en la que se expresa el conocimiento resultante del trabajo intelectual mediante investigación científica en un área determinada del saber, perteneciente o no al ámbito académico, publicado o inédito, pero que contribuye al desarrollo de la ciencia, de la técnica, de la tecnología y al desarrollo social. (Spinak, 1996, como se citó en Chúa y Orozco, 2016, p.11)

Dichos resultados de investigación pueden ser divulgados por medio de artículos de revista (principal medio utilizado), capítulos de libro, libros, ponencias y otros documentos que contribuyen a la difusión del conocimiento. Para evaluar la producción académica se emplean indicadores bibliométricos, los cuales permiten cuantificar diferentes aspectos de la actividad investigadora. Entre los más utilizados se encuentran: el número total de publicaciones, el número de citas

recibidas, coautoría académica y la calidad de las revistas científicas de publicación. Estos indicadores pueden enfocarse en medir la productividad, la visibilidad, el impacto o la colaboración entre autores e instituciones. También existen los personales (género, edad) y los de contenido temático.

Además, para fines de este estudio, se define a un repositorio institucional como la plataforma digital de acceso abierto donde las universidades almacenan, preservan y difunden su producción académica (Amaro, 2021). Estos sistemas permiten ampliar la visibilidad de los trabajos que no necesariamente están indexados en bases de datos comerciales, y contribuyen al cumplimiento de las políticas de acceso abierto en México, las cuales requieren que los resultados de investigaciones financiadas total o parcialmente, con fondos públicos, sean divulgados en este tipo de desarrollos (Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, 2023).

Producción científica y visibilidad académica

La producción científica, como se señaló anteriormente, representa el conjunto de trabajos generados por académicos con el propósito de difundir sus resultados de investigación. Es la forma de aportar al conocimiento disciplinar y fortalecer la comunicación en la ciencia. Esta producción puede materializarse a través de diferentes tipos de documentos: artículos de revista, capítulos de libro, libros, ponencias, reportes técnicos y otros medios especializados.

En el ámbito académico no solo resulta importante producir conocimiento, sino también asegurar su visibilidad y alcance entre la propia comunidad científica. La visibilidad académica se refiere a la capacidad que tiene una publicación de ser consultada, citada y reconocida por otros investigadores (Luna Morales et al., 2022), lo cual contribuye al posicionamiento de los autores y de las instituciones a las que pertenecen. Factores como el idioma de publicación, el medio en el que se difunde, el acceso abierto y la indexación en bases de datos de prestigio influyen directamente en la visibilidad de los trabajos académicos.

En México se han implementado políticas que promueven el acceso abierto y el fortalecimiento de la visibilidad académica mediante la integración de publicaciones en bases de datos internacionales y repositorios institucionales. Esto permite no solo incrementar la presencia de las universidades en el ámbito científico global, sino también facilitar el acceso a la producción nacional, mejorar la colaboración académica y optimizar la gestión de la información científica generada por las instituciones públicas de educación superior.

Estudios bibliométricos aplicados a universidades mexicanas

En los últimos años, los estudios bibliométricos se han consolidado como una herramienta útil para conocer el comportamiento de la producción científica en México. Diversas universidades han realizado este tipo de análisis con el objetivo de identificar tendencias de publicación, áreas de oportunidad, patrones de colaboración académica y evaluar

el impacto de la investigación dentro y fuera del país. En este sentido, y de acuerdo con la revisión bibliográfica sobre el tema, se determinó que son diversos los estudios bibliométricos orientados al análisis de la ciencia en el país, los cuales abordan la participación tanto de universidades públicas como privadas (Flores-Vargas et al., 2023; Luna Morales, 2009). De manera más específica, se han documentado estudios enfocados en la Universidad Autónoma de Yucatán (Luna Morales et al., 2018; Luna Morales et al., 2020), así como en el Instituto Politécnico Nacional (Fabila Castillo y Fabila Monroy, 2023). Por su parte, la Universidad Autónoma de Zacatecas, al igual que otras instituciones, ha cubierto el tema de género desde distintos ámbitos, especialmente en relación con la participación en el SNII (Cervantes et al., 2024). Estos trabajos han contribuido a establecer un diagnóstico sobre el crecimiento de la producción académica, el posicionamiento de las universidades mexicanas en los rankings nacionales e internacionales, así como la distribución temática de sus publicaciones.

Repositorios institucionales y acceso abierto en México

El acceso abierto se refiere a la disponibilidad en línea de información científica, académica y cultural sin restricciones económicas, legales o técnicas para su consulta, descarga, copia y distribución (Amaro, 2021). Su propósito es democratizar el conocimiento y facilitar que los resultados de investigación, financiada con recursos públicos, estén disponibles para toda la sociedad, sin costo para los usuarios. En este contexto, los repositorios institucionales son plataformas digitales diseñadas para almacenar, preservar y difundir, en acceso abierto, la producción académica y científica generada por universidades y centros de investigación. Estos espacios permiten concentrar artículos, tesis, libros, capítulos, ponencias y otros documentos, garantizando su disponibilidad gratuita para la comunidad académica y el público en general. En México, el desarrollo de repositorios institucionales se ha fortalecido a partir de las políticas de acceso abierto que han sido impulsadas por el CONAHCYT, hoy SECIHTI, cuyas normativas establecen que la información científica, derivada de investigaciones financiadas con recursos públicos, debe estar disponible de forma libre y accesible.

Si se toma en cuenta el entorno previamente señalado, en este estudio se propuso analizar la producción científica de los investigadores de la UAZ, quienes formaron parte del SNII durante el periodo de 2019 a 2023, para así determinar su contribución en el repositorio Caxcán, en comparación con lo registrado en las bases de datos WoS y Scopus, con el fin de identificar dónde los investigadores realizan su principal contribución.

METODOLOGÍA

Tipo de estudio y periodo de análisis

El presente trabajo corresponde a un estudio bibliométrico de enfoque cuantitativo, orientado al examen de la producción científica de los investigadores de la Universi-

dad Autónoma de Zacatecas (UAZ) adscritos al SNII entre 2019 y 2023.

El análisis consideró la identificación del número de académicos incorporados al sistema nacional, su distribución por género y nivel, así como la búsqueda de los autores más prolíficos, principales temáticas, áreas del conocimiento y dependencias con mayor productividad. Asimismo, fue realizado un contraste entre el repositorio institucional Caxcán y las bases de datos Web of Science (WoS) y Scopus, con el propósito de examinar los canales predominantes de difusión de dicha producción. Es importante precisar que los conteos se efectuaron únicamente considerando a los investigadores adscritos a la UAZ, sin incluir el total de coautores en trabajos colaborativos.

Archivo Histórico del SNII

La lista de investigadores de la UAZ registrados en el SNII entre 2019-2023 se obtuvo del archivo histórico disponible en el sitio oficial del CONAHCYT (<https://secihti.mx/sistema-nacional-de-investigadores/archivo-historico/>), actualmente SECIHTI. Los datos de cada archivo recuperado se homologaron, debido a que la presentación y distribución de los campos difería en cada resultado dado a conocer por el CONAHCYT. En total fueron 524 los académicos identificados en el sistema nacional en el periodo de análisis.

Búsqueda y recuperación de datos

Para la recopilación de la producción científica de los investigadores SNII de la UAZ en los años 2019-2023, se consultaron las bases WoS y Scopus, así como el repositorio institucional de la universidad. En los casos de WoS y Scopus, se aplicó una estrategia de búsqueda que integra el uso de operadores lógicos (AND, NOT), además de filtros por institución y año de publicación, lo que permitió la delimitación de los datos. En WoS, se buscó por afiliación considerando las diversas formas de registro de la UAZ, es decir, nombres en inglés y español. En tanto que, para Scopus, fue por organizaciones. Los resultados obtenidos de ambas bases de datos se exportaron en formato de Excel, seleccionando la opción de registros completos.

Repositorio Institucional Caxcán

La consulta se hizo al repositorio Caxcán de la UAZ para identificar y capturar los campos bibliográficos de los trabajos publicados por los investigadores SNII. Cabe destacar que esta plataforma opera bajo los lineamientos específicos para la integración y funcionamiento de los repositorios institucionales, establecidos por el CONAHCYT (Tena Espinoza de los Monteros, 2018, p. 99).

La búsqueda de publicaciones en Caxcán se llevó a cabo mediante el uso de los nombres completos de los investigadores; es decir, se buscó la producción científica de cada uno de los 524 SNII identificados en el periodo de 2019-2023. Para la recuperación de información, se diseñó una matriz de datos en Excel compuesta por 25 campos, entre los que se encuentran: clave o número de documento, nombre del

investigador, género, nivel en el SNII por años, área del conocimiento en el CONAHCYT, institución de adscripción, dependencia, título del documento, fecha de publicación, tipo de documento, fuente y editorial.

Los datos recuperados de las tres fuentes se normalizaron, entre ellos los autores, por la diversidad de formas en que se registran. En este caso, fue necesario recurrir a páginas web de instituciones de educación superior en México a fin de evitar incluir homónimos. Esta revisión también permitió completar el proceso de asignación de género. Esta distinción ayudó en la comparación entre bases de datos, dado que permitió agilizar el procedimiento.

Variables y criterios de análisis

Para el desarrollo del análisis bibliométrico se seleccionaron varios indicadores, particularmente cuantitativos, que permitieron cumplir con el objetivo de estudio. Entre ellos se destacan los siguientes:

1. Número total de publicaciones por año en el periodo analizado.
2. Número de publicaciones por área temática.
3. Número de publicaciones por fuente de información (WoS, Scopus y Caxcán).
4. Número de investigadores por dependencia académica.
5. Número de investigadores por área del conocimiento.
6. Nivel de los investigadores en el SNII de 2019 a 2023.
7. Investigadores SNII por género.
8. Investigadores más productivos, según el número de publicaciones registradas.

Procesamiento y representación de los datos

En el repositorio Caxcán se identificaron los trabajos correspondientes a investigadores SNII de la UAZ. La información recuperada fue capturada en una matriz previamente diseñada, la cual contempla, como ya se mencionó, 25 campos. Por otro lado, los registros extraídos de las bases de datos WoS y Scopus fueron integrados en un archivo único de Excel, sin perder el control de procedencia del registro (WoS, Scopus).

Del archivo general se seleccionaron, para llevar a otra hoja de Excel, los campos de clave de registro, autores, títulos, fuentes de publicación, años de publicación, volumen, números y páginas, así como temáticas de estudio y disciplinas científicas. Estos datos se organizaron para identificar y eliminar registros duplicados entre WoS y Scopus. De este procedimiento se obtuvo el archivo definitivo de registros únicos, mismo que se retomó para normalizar los campos y hacerlo compatible con el de Caxcán.

Para determinar en cuál de las bases de datos los investigadores publicaron con mayor frecuencia, se llevó a cabo una comparación. A fin de conservar la trazabilidad del origen de cada registro, estos se diferenciaron visualmente mediante el uso de colores aplicados a la tipografía.

Después se realizó el ordenamiento y clasificación de

los datos conforme a las variables de análisis, agrupándolos por año, área temática, tipo de publicación, dependencia académica, género, entre otros. Este proceso hizo posible la obtención de indicadores bibliométricos específicos y la generación de reportes organizados para su estudio. Cabe destacar que, para cada indicador, fue necesaria la comparación a fin de identificar la procedencia por base de datos.

Las temáticas de estudio que cubren las revistas se recuperaron de cada listado obtenido, esto es, de cada base de datos (WoS y Scopus), pero para Caxcán se recurrió a la búsqueda de las revistas en fuentes como WoS y Scopus a fin de identificar los temas de estudio que cubren y, de esta manera, contar con un listado de temáticas, las cuales fueron normalizadas al igual que las de WoS y Scopus.

Las disciplinas científicas se obtuvieron al clasificar las temáticas de estudio previamente normalizadas en las 10 áreas o disciplinas que aplica el Atlas de la Ciencia Mexicana (<https://es.scribd.com/document/275798725/Atlas-de-la-Ciencia-mexicana>).

La representación de los resultados se apoyó en tablas y gráficas elaboradas con herramientas disponibles en Microsoft Excel, seleccionando los formatos más adecuados según la naturaleza de cada variable.

RESULTADOS

En el periodo 2019-2023 se identificaron 524 investigadores adscritos a la UAZ que se mantuvieron activos en el SNII. Como se observa en la Tabla 1, el número de integrantes ha presentado un crecimiento sostenido, con incrementos especialmente significativos a partir de 2022, año en el que la cantidad prácticamente se duplicó. Este comportamiento refleja un fortalecimiento progresivo de la planta académica reconocida a nivel nacional. Es importante señalar que se incluyó el año 2018 en la tabla con el fin de establecer la diferencia respecto al primer año de análisis (2019) y, de esta manera, determinar qué incremento se logró con respecto al año anterior.

Tabla 1.
Procesos de Producción

Año	Investigadores SNII	Diferencia de investigadores por año
2018	203	+21
2019	224	+21
2020	259	+35
2021	291	+32
2022	365	+74
2023	470	+105

Nota. Elaboración propia con datos del Archivo Histórico del SNII, 2024.

La Tabla 2 muestra la distribución de los académicos por género, lo que permite identificar una tendencia de predominio masculino, así como un aumento constante en la presencia femenina durante los últimos años. De los 524 científicos que se mantuvieron activos en el SNII entre 2019 y 2023, 210 fueron mujeres, lo que representa el 40.08 %, mientras que 314 fueron hombres, equivalentes al 59.92 %.

Tabla 2. Participación de investigadores SNII de la UAZ por género: 2019-2023

Género	INVESTIGADORES POR AÑO				
	2019	2020	2021	2022	2023
Femenino	76	95	105	138	191
Masculino	148	164	186	227	279
Total	224	259	291	365	470

Nota. Elaboración propia con datos del Archivo Histórico del SNII, 2024.

Aunque históricamente la proporción de mujeres ha sido menor, estas cifras evidencian una participación notable de académicas dentro del Sistema Nacional. A su vez, el número

de investigadores varones también aumentó, aunque en menor medida, reflejando una evolución positiva hacia una mayor equidad de género en el reconocimiento de la labor científica.

En relación con la proporción de investigadores SNII por nivel, la Figura 1 refleja una clara concentración en las categorías más bajas (Candidato y Nivel 1), lo que indica una menor representación en los niveles 2 y 3. En particular, la participación en el Nivel 3 oscila entre el 8.0 % y el 11.9 %. Esta composición responde a una tendencia generalizada a nivel nacional, donde la mayoría de las instituciones presenta un patrón similar. Una situación comparable se observa en el Nivel Emérito, cuya participación en la UAZ promedia apenas un 2.0 %.

Asimismo, de acuerdo con la clasificación de áreas del conocimiento establecida por el SNII, la actividad investigadora de los científicos de la UAZ se agrupa, como lo muestra la Figura 2, en nueve áreas. Destacan las Ciencias Sociales como el campo con mayor representación, con un promedio del 22.7 %. Le siguen Físico-Matemáticas y Ciencias de la Tierra, así como Ingenierías y Desarrollo Tecnológico, ambas con el 16.0 % de participación. Las Humanidades también registran una presencia relevante, con un 13.3 %. El 32 % restante corresponde a las demás áreas del conocimiento.

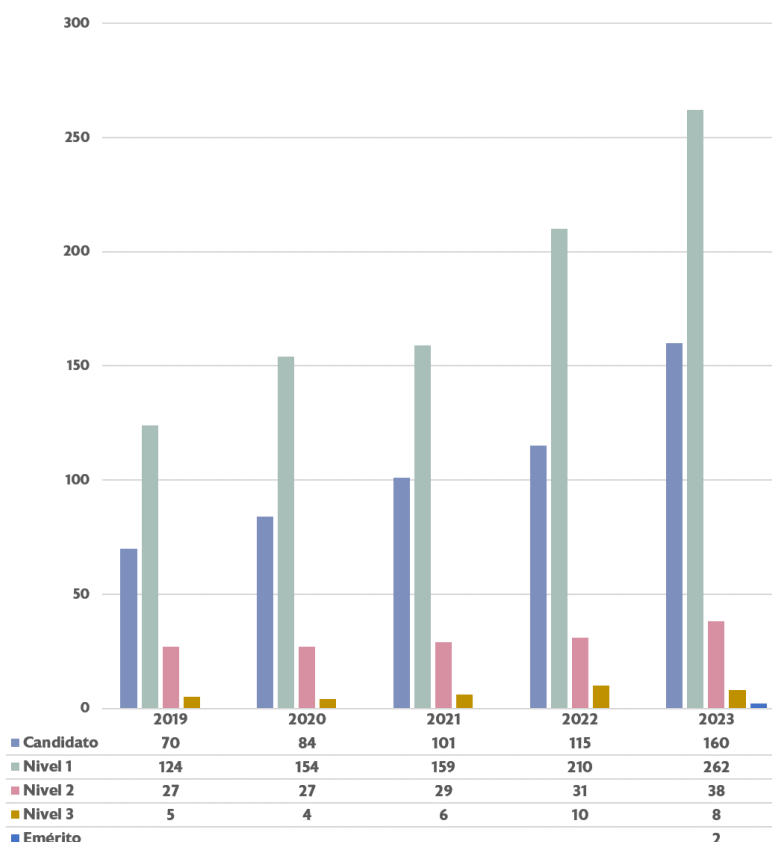


Figura 1. Distribución de investigadores SNII de la UAZ por niveles en el periodo 2019-2023

Nota. Elaboración propia con datos del Archivo Histórico del SNII, 2024.

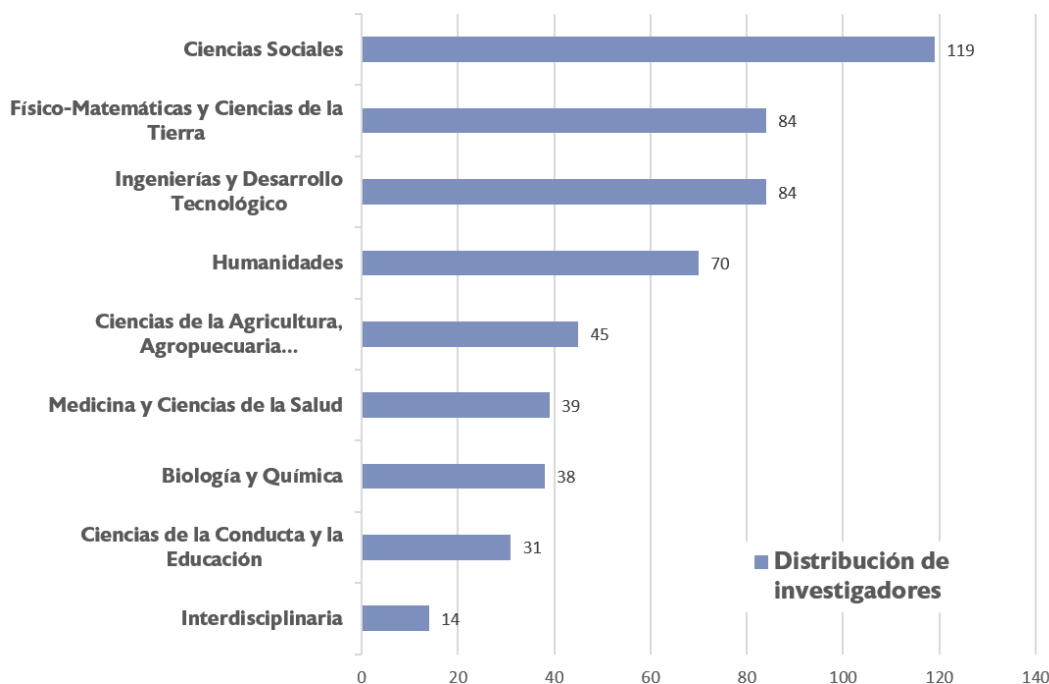


Figura 2. Distribución de los investigadores SNII de la UAZ por áreas del conocimiento

Nota. Elaboración propia con datos del Archivo Histórico del SNII, 2024.

Tabla 3. Distribución de investigadores SNII de la UAZ por dependencia: 2019-2023

Núm.	Dependencia de los investigadores SNII	Investigadores por dependencia	% Investigadores por dependencia
1	Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica	52	9.9
2	Unidad Académica de Ciencias Químicas	41	7.8
3	Área de Humanidades y Educación	40	7.6
4	Unidad Académica de Docencia Superior	33	6.3
5	Unidad Académica de Ingeniería 1	23	4.4
6	Unidad Académica de Psicología	22	4.2
7	Coordinación de Investigación y Posgrado	21	4
8	Unidad Académica de Medicina Humana y Ciencias de la Salud	21	4
9	Unidad Académica de Física	20	3.8
10	Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia	18	3.4

Nota. Elaboración propia. Datos del Archivo Histórico del SNII, 2024.

La Tabla 3 presenta la participación de investigadores SNII según la dependencia académica. En total, se identificaron 33 unidades de la UAZ con investigadores en el sistema nacional, aunque en la tabla solo se incluyen las 10 que concentran el mayor número de integrantes, con el propósito de destacar aquellas con una presencia relevante en el sistema. En este sentido, la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica encabeza la lista con 52 investigadores, lo que representa el 9.9 %. Le siguen la Unidad Académica de Ciencias Químicas y el Área de Humanidades y Educación, con porcentajes del 7.8 % y 7.6 %, respectivamente. Cabe señalar que el 13.5 % de los investigadores registrados no especificaron su adscripción a alguna dependencia de la universidad. El resto de las unidades de la UAZ con presencia en el SNII reporta una participación inferior al 3.0 %.

Producción científica registrada en el repositorio Caxcán

Durante el periodo 2019-2023 fueron recuperados del repositorio Caxcán un total de 1 249 documentos, lo que representa una parte considerable de la producción académica registrada por los investigadores de la UAZ en este espacio de acceso abierto.

Respecto a la productividad anual, la Figura 3 exhibe una tendencia decreciente a lo largo de los cinco años analizados, ya que el mayor número de documentos se registró en 2019, con 468 publicaciones, seguido de 2020, con 340. A partir de 2021, se observa una disminución progresiva. Esta reducción podría atribuirse a dos factores: por un lado, la existencia de material pendiente de ser registrado en el

repositorio; por otro, el hecho de que algunas publicaciones fueron realizadas en revistas que no permiten su inclusión fuera de sus propias plataformas.

En cuanto a la tipología documental, el documento más frecuente fue el artículo académico, con 617 registros, representando el 49.4 % del total de publicaciones en el repositorio. Le siguieron los capítulos de libro, con 356 documentos (28.5 %), y los libros completos, con 164 registros (13.1 %). Las memorias y conferencias registraron 56 y 46 documentos, respectivamente, mientras que los informes técnicos, patentes y editoriales presentaron una participación marginal. Esta distribución evidencia la preferencia de los investigadores por los artículos como principal vía de difusión científica dentro del repositorio institucional.

Ahora bien, la Tabla 4 da a conocer a los cinco investi-

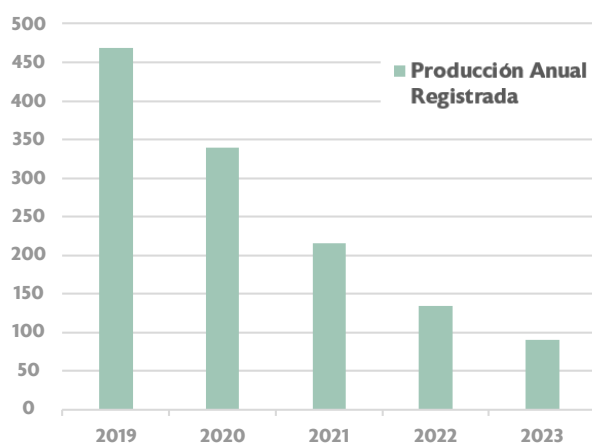


Figura 3. Producción anual registrada en Caxcán: 2019-2023

Nota. Elaboración propia con datos del Repositorio Institucional Caxcán, 2024.

gadores con mayor número de documentos registrados en el repositorio Caxcán de 2019 a 2023, quienes, en todos los casos, son mujeres. Estas autoras ocupan los primeros lugares en cuanto a aportación académica, de un total de 31 investigadores identificados con mayor productividad en ese periodo. Como se puede ver, están adscritas a áreas del conocimiento como Humanidades, Ciencias Sociales, Medicina y Ciencias de la Salud, y Ciencias de la Conducta y la Educación, y se mantienen activas en el SNII, principalmente en los niveles Candidato y Nivel 1.

Esta información contrasta positivamente con la tendencia general de participación femenina en el SNII que, aunque en aumento, sigue siendo menor en comparación con la masculina. Los datos permiten visibilizar la presencia activa y destacada de científicas en la generación de conocimiento institucional en acceso abierto.

La Tabla 5 presenta las revistas en las que los investigadores de la UAZ publicaron con mayor frecuencia los trabajos depositados en Caxcán. Si bien se identificaron 20 títulos distintos, en este apartado se incluyen únicamente los 10 más representativos, con base en el número de documentos registrados. Entre ellos sobresalen las publicaciones editadas por la propia UAZ (Revista Digital FILHA e Investigación Científica), que en conjunto reúnen el 33.7 % del total de artículos. Cabe señalar que 12 de los títulos registrados son de procedencia extranjera, provenientes de países como Suiza, Inglaterra, Estados Unidos y Países Bajos, y se caracterizan por su alcance internacional. Esta situación es relevante, ya que la inclusión, en un repositorio institucional, de artículos publicados en revistas comerciales, plantea cuestionamientos sobre las políticas editoriales y los derechos de autor asociados a dichos trabajos. Surgen así varias interrogantes como: ¿los editores autorizaron su incorporación a Caxcán?, o bien, ¿los autores contaban con las licencias necesarias para el depósito?

Tabla 4. Autores más productivos en el repositorio Caxcán, de 2019 a 2023

NÚM.	INVESTIGADOR	ÁREA DEL CONOCIMIENTO	DEPENDENCIA	TRABAJOS	NIVEL SNII EN 2023
1	Gutiérrez Hernández, Norma	Humanidades	Unidad Académica de Docencia Superior	67	1
2	Magallanes Delgado, María del Refugio	Humanidades	Unidad Académica de Docencia Superior	51	1
3	Rodríguez González, Josefina	Ciencias Sociales	Unidad Académica de Docencia Superior	31	C
4	Lazalde Ramos, Blanca Patricia	Medicina y Ciencias de la Salud	Unidad Académica de Ciencias Químicas	23	2
5	Rangel Bernal, Laura	Ciencias de la Conducta y la Educación	Unidad Académica de Docencia Superior	23	C

Nota. Elaboración propia con datos del Repositorio Institucional Caxcán, 2024.

Tabla 5.

Principales revistas de publicación de los investigadores SNII en Caxcán

NÚM.	FUENTE	PAÍS EDITOR	JOURNAL IMPACT FACTOR (JIF)	EDITORIAL	TEMA DE ESTUDIO DE LA REVISTA	TRABAJOS
1	Revista digital FILHA	México	-	UAZ	Multidisciplinaria (Ciencias, Ciencias Sociales, Artes y Humanidades)	56
2	Investigación Científica	México	-	UAZ	Multidisciplinaria	27
3	Diagnostics	Suiza	3	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)	Medicina General e Interna	13
4	Mobile Information Systems	Estados Unidos	1.863	Hindawi Limited	Telecomunicaciones; Informática, sistemas de información	12
5	International Journal of Environmental Research and Public Health	Suiza	4.614	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)	Salud pública, ambiental y ocupacional	12
6	Applied Sciences	Suiza	2.5	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)	Ingeniería multidisciplinaria; Química multidisciplinaria; Física aplicada; Ciencia de materiales multidisciplinaria	12
7	Superlattices and Microstructures	Inglaterra	3.3	Academic Press Inc.	Física, materia condensada	11
8	Materials Letters	Países Bajos	2.7	Elsevier B.V.	Física aplicada; Ciencia de materiales multidisciplinaria	10
9	Molecules	Suiza	4.2	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)	Química multidisciplinaria; Bioquímica y biología molecular	10
10	Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica	México	-	Universidad Autónoma de Coahuila	Multidisciplinaria, Ciencias de la Ingeniería	9

Nota. Elaboración propia con datos del Repositorio Institucional Caxcán y Web of Science, 2024.

Producción de documentos en WoS y Scopus

Entre 2019 y 2023 se identificaron en WoS un total de 1 822 trabajos generados por 335 investigadores SNII de la UAZ, lo que representa el 63.9 % del total de autores activos en ese periodo. Esta cifra coloca a dicha base de datos como la que concentra tanto el mayor volumen de documentos como la mayor participación de académicos de la institución.

Por su parte, Scopus registró 1 190 publicaciones, producidas por 290 investigadores, lo que equivale al 55.3 % del padrón. En comparación, el repositorio Caxcán recuperó 1 249 documentos, elaborados por 259 autores, es decir, el 49.4 % de los investigadores SNII.

Este comportamiento, reflejado en la Tabla 6, permite advertir que la mayor parte de la producción científica de la comunidad académica se distribuye en bases de datos de corriente principal como WoS y Scopus. No obstante, Caxcán también concentra una proporción significativa de trabajos, aunque principalmente de aquellos publicados en revistas que no tienen un amplio alcance de difusión. Es importante considerar que la permanencia en el SNII depende, en gran medida, de la publicación en revistas con factor de impacto, una característica que generalmente se cumple en títulos indexados en WoS y Scopus (Cervantes et al., 2024).

Tabla 6.

Producción científica de investigadores SNII de la UAZ en WoS, Scopus y Caxcán: 2019-2023

BASE DE DATOS	PUBLICACIONES DE INVESTIGADORES SNII	NÚMERO DE INVESTIGADORES SNII QUE PUBLICARON	NÚMERO DE INVESTIGADORES SNII QUE NO PUBLICARON
Caxcán	1 249	259 (49.43 %)	265 (50.57 %)
WoS	1 822	335 (63.93 %)	189 (36.07 %)
Scopus	1 190	290 (55.34 %)	234 (44.66 %)

Nota. Elaboración propia con datos del Repositorio Institucional Caxcán, Scopus y Web of Science, 2024.

En cuanto a la tipología documental, el tipo de publicación más frecuente en Scopus fue el artículo científico, con 981 registros, lo que representa el 82.4 % del total de la producción en el periodo analizado. También fueron identificadas, aunque en menor cantidad, las conferencias (8 %), las reseñas (4.4 %) y los capítulos de libro (2.7 %). Otros documentos como editoriales, notas, libros, erratas y encuestas breves no superaron los 10 registros cada uno. Por su parte, en WoS también predominó el artículo, con 1 026 trabajos, equivalentes al 84.2 % del total recuperado en esta fuente. A diferencia de Scopus, WoS presentó una mayor diversidad en las categorías documentales, entre las que destacan las conferencias (5.5 %), las reseñas (4.3 %), artículo-conferencia (1.2 %), artículo-capítulo de libro (1.1 %) y artículo-acceso temprano (1.0 %).

Respecto a la distribución de publicaciones por disciplina científica, WoS reportó la presencia de 9, y Scopus 10. Como se muestra en la Tabla 7, ambas bases evidencian un predominio en disciplinas como Ingenierías, Ciencias Físicas, Ciencias Biológicas y de la Salud, Ciencias Sociales y del

Comportamiento, Medicina y Química, cuyos promedios de publicación superan el 11 %.

Esta tendencia indica que la UAZ cuenta con 6 áreas consolidadas en términos de producción científica. En contraste, las 4 disciplinas restantes presentan un volumen menor; en particular, las Humanidades resultan prácticamente invisibles en WoS y Scopus. Ello pone de manifiesto la necesidad de apoyar aquellas áreas menos productivas, a fin de que logren una mayor presencia en las fuentes de alcance internacional.

El análisis de los investigadores más productivos en las bases de datos de corriente principal permitió identificar a 21 autores que concentraron el 34.8 % de la producción total registrada en WoS; el 49.3 % en Scopus y el 11.2 % en Caxcán.

No obstante, para fines de este estudio, la Tabla 8 presenta únicamente a los 10 autores con mayor número de publicaciones, ordenados según su productividad en WoS. Estos resultados demuestran que, aunque los mismos investigadores encabezan la producción en las distintas fuentes analizadas, la cantidad de documentos varía en función de la base de datos, lo cual está vinculado tanto a los criterios de indexación como a las políticas editoriales de cada plataforma.

En cuanto a sus campos de estudio, se observó que la mayoría de estos autores pertenece a las áreas de Ingenierías, Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud y, en menor medida, a Física y a Ciencias Sociales y del Comportamiento.

Esta distribución muestra la fortaleza investigadora de la institución en disciplinas de las Ciencias Exactas y de la Salud, pero también resalta la limitada presencia de investigadores altamente productivos en otras áreas, aspecto que podría considerarse en futuras estrategias de fortalecimiento académico y en las políticas institucionales de investigación.

Tabla 7.

Producción por disciplina científica en WoS y Scopus: 2019-2023

NÚM.	DISCIPLINA	NÚMERO DE PUBLICACIONES POR DISCIPLINA CIENTÍFICA EN WOS	NÚMERO DE PUBLICACIONES POR DISCIPLINA CIENTÍFICA EN SCOPUS
1	Ingenierías	117 (28.5 %)	82 (23.1 %)
2	Ciencias Físicas	69 (16.8 %)	67 (18.9 %)
3	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud	64 (15.6 %)	73 (20.6 %)
4	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento	54 (13.2 %)	12 (3.4 %)
5	Ciencias Químicas	46 (11.2 %)	40 (11.3 %)
6	Medicina	23 (5.3 %)	32 (9.0 %)
7	Agrociencias	19 (4.6 %)	19 (5.4 %)
8	Matemáticas	12 (2.9 %)	19 (5.4 %)
9	Ciencias de la Tierra	6 (1.5 %)	9 (2.5 %)
10	Humanidades	0%	2 (0.6 %)

Nota. Elaboración propia con datos de Scopus y Web of Science, 2024.

Tabla 8.

Investigadores SNII de la UAZ más productivos por base de datos: 2019-2023

NÚM.	AUTORES	PUBLICACIONES WoS	PUBLICACIONES Scopus	PUBLICACIONES Caxcán	AÑOS EN EL SNII	DISCIPLINA DE ESTUDIO
1	Galván Tejada, Carlos Eric	59	62	19	5	Ingenierías
2	Martínez Fierro, Margarita de la Luz	58	59	2	5	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
3	Gamboa Rosales, Hamurabi	57	53	17	5	Ingenierías
4	Galván Tejada, Jorge Issac	51	53	17	5	Ingenierías
5	Celaya Padilla, José María	45	46	15	5	Ingenierías
6	Garza Veloz, Idalia	41	37	1	5	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
7	Vega Carrillo, Héctor René	41	3	3	5	Física
8	Luna García, Huizilopoztli	40	39	13	5	Ingenierías
9	Rodríguez Vargas, Isaac	30	29	7	5	Física
10	Martínez Orozco, Juan Carlos	26	25	12	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento

Nota. Elaboración propia con datos del Repositorio Institucional Caxcán, Scopus y Web of Science, 2024.

CONCLUSIONES

Los investigadores del SNII de la UAZ entre 2019 y 2023 mostraron tendencias en el crecimiento anual de miembros en el sistema nacional. Estos investigadores se inclinan por la publicación principalmente de temas que corresponden a las áreas de Ingenierías, Ciencias Biológicas y de la Salud, y Ciencias Físicas, donde se concentra la mayor parte de la producción científica institucional; así como una participación primordial en bases de corriente principal como Web of Science y Scopus, y en menor medida en el repositorio Caxcán. De igual manera, se observó que un grupo reducido de investigadores concentra buena parte de la productividad y que la mayoría de estos autores se mantuvo activa durante el periodo analizado, lo que favorece la estabilidad y continuidad de líneas de investigación estratégicas en la UAZ.

Estos resultados no solo muestran el crecimiento de la planta académica reconocida en el SNII, sino también la consolidación de ciertas áreas disciplinarias dentro de la UAZ. Sin embargo, se mantiene una concentración en campos tradicionales como Ingenierías y Ciencias Exactas, con menor representación en Humanidades y Ciencias Sociales. Este comportamiento refleja tanto las dinámicas

nacionales de evaluación científica como los criterios de indexación de las bases de corriente principal, que tienden a priorizar ciertas disciplinas.

Por otro lado, se identificó que buena parte de las publicaciones integradas en Caxcán corresponde a trabajos publicados en revistas extranjeras, lo que plantea interrogantes en torno a los permisos editoriales y las políticas de acceso abierto de la institución. Ante esta situación, sería pertinente desarrollar un estudio posterior orientado específicamente al análisis de los permisos de documentos, es decir, determinar si cuentan con la autorización para promover la divulgación de la ciencia o, por el contrario, se está incurriendo en prácticas que pudieran vulnerar los derechos de autor. De acuerdo con los resultados de este estudio, es muy probable que se trate de publicaciones permitidas, considerando que los repositorios deben operar conforme a los lineamientos establecidos por la SECIHTI.

En conclusión, se recomienda a la UAZ fortalecer la gestión de su repositorio, especialmente en lo que respecta al acompañamiento y estímulo a los investigadores para que mantengan actualizados sus registros. De este modo, Caxcán podrá consolidarse como una fuente de datos confiable para la comunidad científica y estudiantil.

REFERENCIAS

- Acosta, I.L. y Aguilar, C.E. (2013). Trabajo académico y producción científica en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ). En: M.E. Martínez de Ita, F.J. Piñero, y S.A. Figueroa Delgado (Eds.). *El papel de la universidad en el desarrollo* [Academic Work and Scientific Production at the Autonomous University of Zacatecas (UAZ)]. In M.E. Martínez de Ita, F.J. Piñero, & S.A. Figueroa Delgado (Eds.), *The Role of the University in Development* (pp. 207-232). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Amaro, B. (26 de enero de 2021). *Del acceso abierto a la ciencia abierta: la forma de hacer ciencia hoy* (From Open Access to Open Science: The Way Science Is Done Today) [Archivo de Video]. YouTube. <https://youtu.be/hQK1kZ-S7OM?si=w26kUjyZ2b0SOWQf>
- Cervantes, R., Gallegos Flores, P.I. y Gutiérrez-Espinoza, A.E. (2024). Mujeres científicas en la Universidad Autónoma de Zacatecas: retos y dificultades en el ingreso y permanencia al SNII (Women Scientists at the Universidad Autónoma de Zacatecas: Challenges and Difficulties in Gaining Entry to and Remaining in the Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores SNII). *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 15(29). <https://doi.org/10.23913/ride.v15i29.2194>
- Chúa, C. y Orozco, R. (2016). La producción científica (Scientific Production). *Revista médica (Colegio de Médicos y Cirujanos de Guatemala)*, 155(1), 7-13. <https://doi.org/10.36109/rmg.v155i1.26>
- Decreto por el que se expide la Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, y se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal de las Entidades Paraestatales y de la Ley de Planeación (Decree Issuing the General Law on Humanities, Sciences, Technologies, and Innovation, and Amending and Adding Provisions to the Federal Law of Parastatal Entities and the Planning Law). 8 de mayo de 2023. Diario Oficial de la Federación.
- Estrada, J.L. y Mateos, M.L. (2024). Producción científica de los investigadores en México: Alcances y limitaciones para la publicación en revistas internacionales (Scientific Production of Researchers in México: Scope and Limitations for Publishing in International Journals). *Revista de Ciencias Sociales*, 30(4), 123-143. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9857476>
- Fabila Castillo, L.H. y Fabila-Monroy, R. (2023). Colaboración y Publicaciones Científicas en el Instituto Politécnico Nacional 1999-2019 (Collaboration and Scientific Publications at the Instituto Politécnico Nacional 1999–2019). *Investigación Administrativa*, 52(132). <https://administrativa.escasto.ipn.mx/index.php/IA/article/view/164/169>
- Flores-Vargas, X., González-Brambila, C.N. y Pérez-Angón, M.A. (2023). Geographical characterization of the scientific performance in Mexico (1995–2015). *Scientometrics*, 128, 1785-1799. <https://doi.org/10.1007/s11192-023-04632-6>
- Luna Morales, M.E. (2009). *La maduración de la ciencia mexicana: un análisis histórico bibliométrico de su desarrollo de 1980-2004* (The Maturation of Mexican science: A Historical Bibliometric Analysis of Its Development 1980–2004). [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2009/diciembre/0652207/Index.html>
- Luna Morales, M.E., Luna-Morales, E. y Luna-Morales, S. (2018). La UADY en la literatura científica registrada en Web of Science y Scopus: 1900-2016 (UADY in the Scientific Literature Indexed in Web of Science and Scopus 1900–2016). *Revista Educación y Ciencia*, 7(8), 17-30. <http://www.educacionyciencia.org/index.php/educacionyciencia/article/view/470>
- Luna Morales, M.E., Luna-Morales, E. y Luna-Morales, S. (2020). Impacto de la literatura científica publicada por investigadores de la UADY 1973-2016 (Impact of the Scientific Literature Published by Researchers from the UADY 1973-2016). *Revista Educación y Ciencia*, 9(53), 19-42. <http://educacionyciencia.org/index.php/educacionyciencia/article/view/548>
- Luna Morales, M.E., Luna Morales, E. y Luna Morales, S. (2022). Orígenes de la bibliometría en México: Desarrollo, estado actual y perspectivas. En: J.A. Arellano Rodríguez, J.A. Yáñez de la Peña, y C. Mireles Cárdenas (Eds.), *Bibliotecas y Bibliotecología en México* [“Origins of Bibliometrics in Mexico: Development, Current Status, and Perspectives.” In J.A. Arellano Rodríguez, J.A. Yáñez de la Peña, & C. Mireles Cárdenas (Eds.), *Libraries and Librarianship in Mexico*] (pp. 12-67). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. https://www.bibliotecas.uady.mx/docs/bibliotecas_bibliotecologia_mexico.pdf
- Pérez Piñón, F.A. (2025). Comentarios a los resultados de la convocatoria del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) 2024 [Comments on the Results of the 2024 Call of the Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII)]. *Debates por la Historia*, 12(2), 7-20. <https://doi.org/10.54167/debates-por-la-historia.v12i2.1612>
- Tena Espinoza de los Monteros, M.A. (2018). Desarrollo de repositorios institucionales como estrategia nacional para el acceso abierto. El caso de México. En J.A. Merlo Vega (Coord.), *Ecosistemas del acceso abierto* [“Development of Institutional Repositories as a National Strategy for Open Access: The Case of Mexico”]. In: J.A. Merlo Vega (Ed.), *Open Access Ecosystems* (pp. 85-104). Ediciones Universidad de Salamanca.
- Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) (2025). *Archivo Histórico del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII)* [Historical Archive of the National System of Researchers (SNII)]. <https://seciht.mx/sistema-nacional-de-investigadores/archivo-historico/>
- Zerón Félix, M., Rubalcava de León, C.A. y De la Garza-Cárdenas, M.H. (2022). México frente al reto del conocimiento de frontera del emprendimiento social (México Facing the Challenge of Frontier Knowledge in Social Entrepreneurship). *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 9(23). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2021.23.79183>

Enfermedad vascular cerebral y errores de prescripción

Dolores Mino-León; Ian Alexis Rocha-Peláez;
Judith Araceli Olguín-Pérez

RESUMEN

El objetivo de esta investigación se dirige a determinar el grado de asociación entre EVC y errores de prescripción de antihipertensivos en atención primaria. La metodología consiste en un estudio de casos y controles. Los casos fueron pacientes con diagnóstico de hipertensión arterial (HA) que acudieron al servicio de urgencias de un hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social de la Ciudad de México, con cuadro clínico de enfermedad vascular cerebral (EVC) el cual se confirmó por clínica y por tomografía. Los controles fueron pacientes con diagnóstico de HA que recibían tratamiento farmacológico sin antecedentes de EVC y que acudían a la Unidad de Medicina Familiar a la que asistía el caso. Se realizó un análisis descriptivo, bivariado y multivariado. Como resultados: se incluyeron 64 casos y 64 controles, edad promedio de los casos mayor a la de los controles. Los casos tomaban en promedio mayor número de medicamentos, en mayor proporción recibían esquemas combinados de tratamiento antihipertensivo y con combinaciones incorrectas; mayor proporción de interacciones fármaco-fármaco (IFF), mayor número de interacciones de antihipertensivos con otros fármacos; mayor proporción de IFF que disminuía el efecto antihipertensivo, así como errores en la dosis. El modelo de regresión simple reveló que prácticamente todas las variables farmacológicas fueron significativas; sin embargo, en el modelo ajustado únicamente la variable "IFF" se asoció a EVC. Conclusiones: las IFF se asociaron con EVC, lo que sustenta la importancia de promover entre los médicos la capacitación continua relacionada con mejorar la prescripción farmacológica.

Palabras clave: errores de prescripción, enfermedad vascular cerebral, hipertensión arterial.

Cómo citar: Mino-León, D., Rocha-Peláez, I., Olguín-Pérez, J. (2026). Enfermedad vascular cerebral y errores de prescripción. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto7>

Cerebrovascular disease and prescribing errors

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the degree of association between cerebrovascular disease (CVD) and anti-hypertensive prescription errors in primary care. The methodology consists of a case-control study. Cases were patients diagnosed with hypertension (HTN) who attended the emergency department of a hospital within the Mexican Social Security Institute in Mexico City, presenting with clinical manifestations of CVD, which was confirmed through clinical assessment and computed tomography. Controls were patients diagnosed with HTN receiving pharmacological treatment, with no history of CVD, who attended the Family Medicine Unit corresponding to the case. A descriptive, bivariate, and multivariate analysis was performed. Results: A total of 64 cases and 64 controls were included; the mean age of cases was higher than that of controls. On average, cases were taking a greater number of medications, were more likely to be on combined antihypertensive regimens and to receive incorrect combinations; they exhibited a higher proportion of drug-drug interactions (DDIs), a greater number of interactions between antihypertensives and other drugs; a higher proportion of DDIs that reduced antihypertensive efficacy, as well as dosing errors. Simple regression analysis revealed that virtually all pharmacological variables were significant; however, in the adjusted model, only the variable "DDIs" was associated with CVD. Conclusions: DDIs were associated with CVD, highlighting the importance of promoting continuous education among physicians to improve pharmacological prescribing practices.

Keywords: prescription errors, cerebrovascular disease, arterial hypertension.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), a nivel mundial, 1.4 millones de personas adultas entre 30 y 79 años padecen hipertensión arterial (HA), y aproximadamente 320 millones de adultos con hipertensión (23 %) logra el control óptimo de la enfermedad (World Health Organization, 2025). En México, los datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2020–2023 revelaron que la prevalencia de HA en adultos de ≥ 20 años es de 29.9 %, siendo mayor en los hombres; por otro lado, 82.5 % de las personas con diagnóstico de HA reciben tratamiento farmacológico, pero únicamente 57.4 % están en control. Sin embargo, estos datos cambian en dirección negativa cuando se analizan de forma conjunta a las personas con diagnóstico previo y a las personas que se identificaron durante la encuesta; bajo esta circunstancia, únicamente el 36.1 % reciben tratamiento farmacológico y 20.7 % está en control (Campos-Nonato et al., 2024). Por otro lado, la presencia de otras enfermedades en los pacientes hipertensos es frecuente y suelen necesitar del consumo de otros medicamentos, y en ocasiones llegan a padecer polimedición (Soares-Rodrigues & Oliveira, 2016; Fravel & Ernst, 2021). Los resultados del estudio SPRINT reportaron que el 40.3 % de los pacientes hipertensos recibían polimedición (≥ 5 medicamentos) al inicio del estudio (Derington et al., 2019). Tal condición favorece la presencia de errores de medicación (EM), los cuales son eventos prevenibles que pueden ocasionar daño al paciente y se relacionan

con la prescripción de medicamentos o con problemas de comunicación, etiquetado, envasado, entre otros (National Coordinating Council for Medication Error Reporting and Prevention, 2025). En la atención médica ambulatoria se ha reportado que la prevalencia de EM relacionados con la prescripción se ubica entre 23–92 %; los tipos de errores que son más frecuentes se relacionan con la dosis, duración y frecuencia de administración (Naserallah et al., 2023). Otro tipo de error de prescripción que se ha reportado con frecuencia involucra la presencia de interacciones fármaco-fármaco (IF-F) (Mino-León et al., 2011), que pueden alterar la farmacocinética o farmacodinamia; en las primeras, un fármaco "precipitante" modifica la absorción, el metabolismo, la distribución o la eliminación de otro fármaco que ha sido "coadministrado", a la vez que los problemas de tipo farmacodinámicos se producen cuando un fármaco altera el efecto final de otro fármaco, es decir, la eficacia terapéutica o su seguridad (Fravel & Ernst, 2021). Se ha reportado que pacientes hipertensos que reciben tratamiento farmacológico, más del 74 % presentan una IF-F y 35 % de estas interacciones son "altamente significativas" (Carter et al., 2004). Otro estudio identificó que las interacciones entre fármacos antihipertensivos fueron frecuentes. Entre las combinaciones más representativas fueron metoprolol-amlodipino; espirolactona-ramipril; espirolactona-candesartán y espirolactona-perindopril, y las interacciones de antihipertensivos con otros grupos terapéuticos fueron con esta-

tinias, agentes antiplaquetarios, inhibidores de la bomba de protones, anticoagulantes, antiinflamatorios no esteroideos (AINEs), entre otros (Diaconu et al., 2021).

La enfermedad vascular cerebral (EVC), a nivel mundial, se ha mantenido como la segunda causa de muerte (\approx 7 millones) y como la tercera causa de años de vida perdidos por discapacidad; una consideración importante sobre la que hay que reflexionar es el hecho de que la EVC es altamente prevenible, ya que 84 % de la carga de esta enfermedad se ha atribuido a 23 factores de riesgo modificables, siendo uno de ellos la HA (Feigin et al., 2025). En México, datos del año 2021 revelaron que la EVC fue la séptima causa de muerte en población general (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2022), que existen 118 casos por cada 100 mil habitantes, lo que representa 170 mil nuevos casos al año, de los cuales el 20 % llegan a fallecer en los primeros 30 días y 7 de cada 10 casos presentarán algún tipo de discapacidad. Por otro lado, se ha estimado que la EVC se puede prevenir en 9 de 10 casos y que la HA es uno de los principales factores de riesgo, al observarse que entre el 30.9 % y 49.9 % de las personas hipertensas presentan EVC (Secretaría de Salud, 2022). Además, en un estudio se reportó que el 80.7 % de los casos con HA presentaron EVC (Aguilar-Salas et al., 2022).

Objetivo:

Estimar en una muestra de pacientes adultos hipertensos la asociación entre la presencia de EVC y errores de prescripción de fármacos antihipertensivos.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio de casos y controles; los casos fueron pacientes de ambos sexos, con 40 años o más, que tenían diagnóstico previo de HA, en tratamiento farmacológico, y que ingresaron al servicio de urgencias del Hospital General de Zona No. 1-A (HGZ 1A) de la Ciudad de México, del IMSS, con cuadro clínico de EVC, y posteriormente se confirmó el diagnóstico por estudio tomográfico. Los controles fueron pacientes con diagnóstico de HA en tratamiento farmacológico, sin antecedentes de EVC y que acudían a recibir atención médica a la Unidad de Medicina Familiar (UMF) a la que asistía el caso (UMF 10, 12 o 15).

Variables analizadas

- **Enfermedad Vascular Cerebral:** cuadro con sintomatología clínica y confirmación con estudio tomográfico.
- **Tensión arterial:** promedio de las tres últimas mediciones de tensión arterial (TA) registradas en el expediente clínico.
- **Errores de prescripción de antihipertensivos:** relacionados con la pauta terapéutica (dosis, intervalo de administración y duración), así como interacciones fármaco-fármaco (IF-F); en ambos casos se empleó el programa de Micromedex® como fuente de información.

- **Falta de adherencia al tratamiento:** se evaluó con la aplicación del Cuestionario Martín-Bayarre-Grau (MBG), que tiene puntuación máxima de 48 y se consideró falta de adherencia con puntaje de \leq 17 (Martín Alfonso et al., 2008).
- **Automedicación:** se consideró el consumo de medicamentos sin prescripción por parte de un profesional de la salud (médico u odontólogo), información que se obtuvo por el paciente o familiar.
- **Tiempo de evolución de la HA:** tiempo que transcurrió en meses, entre la fecha del diagnóstico y la última cifra de TA registrada en el expediente clínico (EC) del paciente.
- **Sociodemográficas:** edad (años), sexo (hombre/mujer), con o sin pareja, escolaridad y ocupación.

Descripción del estudio

Los casos se captaron diariamente en los tres turnos laborales del servicio de urgencias del hospital; al identificar un potencial caso, se procedió a revisar el EC para evaluar si cumplía con los criterios de inclusión. Cuando esto ocurría, se solicitaba la firma de la carta de consentimiento informado. Acto seguido, por interrogatorio (directo o indirecto), se obtuvo la información socio demográfica, clínica y farmacológica y se aplicó el cuestionario de adherencia terapéutica. Al día siguiente de haber incluido al caso, se acudió a la UMF para realizar la revisión del EC para confirmar la información farmacológica que se había obtenido por autorreporte, además de los datos demográficos y clínicos (peso, talla, fecha en que se estableció el diagnóstico de HA, últimos seis registros de TA, historia de esquemas de tratamiento antihipertensivo que había recibido a partir del diagnóstico y hasta el momento previo al ingreso al servicio de urgencias del hospital); historia farmacológica de antihipertensivos y de “otros” fármacos que consumía (nombre genérico, dosis, intervalo de administración y duración). Además, de los “otros” fármacos también se registró el diagnóstico clínico que motivó su prescripción.

Ahora bien, para la inclusión de los controles se empleó un listado de los pacientes con diagnóstico establecido de HA que recibían atención médica en la misma UMF del caso, y de su EC se extrajo la información similar recopilada del caso; por llamada telefónica se acordó la cita en la UMF para responder el cuestionario de adherencia terapéutica. Posteriormente, la información de los casos y de los controles se revisó para identificar los errores de prescripción y/o IF-F.

Análisis estadístico

Para la realización del análisis estadístico se llevó a cabo un análisis descriptivo, bivariado y se estimó asociación mediante el cálculo de la razón de momios (OR) y sus intervalos de confianza (IC). Se elaboraron modelos de regresión logística simples y ajustados por edad, sexo, con o sin pareja, escolaridad y actividad laboral. El valor de significancia estadística que se consideró fue de $p < 0.05$. Se empleó el programa SPSS versión 22.

El protocolo fue autorizado por el Comité Local de Ética en Investigación en Salud del HGZ 1A con número de registro R-2015-3701-24.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En tal sentido, se incluyeron 64 casos y 64 controles. La edad promedio de los casos fue mayor con respecto a los controles. Los controles tuvieron mayor tiempo de evolución de padecer HA y mayor número de enfermedades crónicas. Con respecto

a las variables farmacológicas, los casos tomaban en promedio mayor número de medicamentos; en mayor proporción recibían esquemas combinados de antihipertensivos y combinaciones incorrectas; además, se identificó mayor proporción de casos con IF-F y mayor número de interacciones de antihipertensivos con otros fármacos.

De modo particular, en los casos se registró mayor proporción de IF-F, las cuales evidencian la disminución del efecto antihipertensivo y, en más del 40 %, se constata que su efecto fue clasificado como “severo” (Tabla 1).

Tabla 1.
Características generales de los casos y controles

VARIABLES	CASOS n=64 n (%)	CONTROLES n=64 n (%)	P
Demográficas			
Edad **	75.8 ± 11.1	70.6 ± 12.2	0.013
Mujeres	44 (68.8)	36 (56.2)	0.144
Sin pareja	45(70.3)	46 (71.9)	0.845
Escolaridad			
Analfabeta	7 (10.9)	5 (7.8)	0.815
Básica/media	50 (78.1)	51 (79.7)	
Superior	7 (10.9)	8 (12.5)	
Actividad laboral (+)	11 (17.2)	8 (12.5)	0.456
Clínicas			
Presión arterial sistólica (mmHg)	125.6 ± 11.5	123.9 ± 10.0	0.392
Presión arterial diastólica (mmHg)	75.6 ± 5.8	77.5 ± 5.2	0.083
Tiempo de evolución HA* (meses)	65.7 ± 43.4	127.6 ± 283.7	0.087
Pacientes con HA* descontrolada	28 (43.8)	24 (37.5)	0.472
Diabetes mellitus tipo 2 (+)	34 (53.1)	39 (60.9)	0.372
Dislipidemias (+)	2 (3.1)	1 (1.6)	1.000
Cardiopatía (+)	12 (18.8)	9 (14.1)	0.474
Enfermedad psiquiátrica (+)	12 (18.8)	12 (18.8)	1.000
Enfermedad respiratoria (+)	3 (4.7)	7 (10.9)	0.188
Enfermedad gastrointestinal (+)	11 (17.2)	21 (32.8)	0.041
Número de enfermedades **	1.2 ± 1.0	1.6 ± 1.0	0.055
Murtimorbilidad (≥ 2 enfermedades)	49 (76.6)	56 (87.5)	0.107
Farmacológicas			
Número de fármacos **	10.7 ± 4.6	8.6 ± 4.4	0.008
Falta de adherencia terapéutica	7 (10.9)	2 (3.1)	0.084
Automedicación (+)	16 (25.0)	9 (14.1)	0.119
IF-F ***	57 (89.1)	34 (53.1)	0.000
Tratamiento antihipertensivo			
Monoterapia	12 (18.7)	22 (34.4)	0.045
Combinado	52 (81.3)	42 (65.6)	0.072
Monoterapia incorrecta	8/12 (66.6)	11/22 (50.0)	0.566
Combinado incorrecto	50/52 (96.1)	34/42 (80.9)	0.039
Número interacciones antihipertensivo con otro fármaco **	5.5 ± 4.4	3.5 ± 4.6	0.016
IF-F disminuyen antihipertensivo	44 (68.8)	25 (39.1)	0.001
IF-F intensidad “severa” disminuye efecto antihipertensivo	27 (42.2)	16 (25.0)	0.040
Dosis incorrecta antihipertensivo	17 (26.6)	8 (12.5)	0.045
Frecuencia administración antihipertensivo incorrecta	35 (54.7)	30 (46.9)	0.377
Número errores de prescripción ** (dosis y/o frecuencia y/o IF-F)	1.5 ± 0.8	1.0 ± 0.8	0.001

Nota. * HA = Hipertensión arterial; ** promedio ± desviación estándar; *** IF-F= Interacciones Fármaco-Fármaco.

Los grupos terapéuticos de antihipertensivos que con mayor frecuencia recibían los pacientes (casos y controles), fueron diuréticos e inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (IECAs) (Tabla 2).

Tabla 2.

Frecuencia de grupos terapéuticos de antihipertensivos y código del Sistema de Clasificación Anatómica, Terapéutica, Química (ATC)

CÓDIGO ATC	CASOS n=64 n (%)	CONTROL n=64 n (%)	P
Diuréticos C03AA03, C03BA04, C03CA01, C03DA01	37 (57.8)	33 (51.6)	0.478
Inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina. C09AA01, C09AA02, C09AA03, C09AA05	32 (50.0)	32 (50.0)	1.000
Antagonistas de los receptores de angiotensina II. C09CA06, C09CA01, C09CA07, C09CA07	29 (45.3)	23 (35.9)	0.280
Antagonistas de los canales de calcio C08CA01, C08CA02, C08CA05, C08DA01, C05AE03	28 (43.8)	23 (35.9)	0.367
Betabloqueadores C07AB02, C07AA05	22 (34.4)	17 (26.6)	0.337
Bloqueador alfa adrenérgico C02CA01	5 (7.8)	2 (3.1)	0.440

También se identificaron interacciones de antihipertensivos con AINEs, los cuales potencialmente pueden ocasionar disminución del efecto antihipertensivo (Tabla 3).

Tabla 3.

Frecuencia de interacciones de antihipertensivos con fármacos que potencialmente disminuyen la eficacia del antihipertensivo

INTERACCIÓN	CASOS n=64 n (%)	CONTROL n=64 n (%)	P
IECA* -AINEs**	22(34.4)	15(23.4)	0.172
Diuréticos - AINEs**	23 (35.9)	14 (21.9)	0.079
b bloqueadores - AINEs**	12 (18.8)	9 (14.1)	0.474
ARAI*** -AINEs**	0 (0.0)	4 (6.2)	0.119
Nifedipino - Inductores CYP3A4	5 (7.8)	1 (1.6)	0.208
Captopril – Antiácidos	1 (1.6)	1 (1.6)	1.000
Bloqueadores canales de calcio - AINEs**	19 (29.7)	0 (0.0)	0.000
IECA* -Telmisartán	3 (4.7)	0 (0.0)	0.244
Furosemida - Celecoxib	1 (1.6)	0 (0.0)	1.000

Nota. *IECA= inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina; **AINEs= antiinflamatorios no esteroideos; ***ARA II= antagonistas de los receptores de angiotensina II.

Asimismo, como parte de las pesquisas realizadas se comprobó que los efectos clínicos potenciales de las IF-F de intensidad “severa” que se registraron fueron hipotensión y toxicidad por digoxina (Tabla 4).

Tabla 4.

Frecuencia de interacciones fármaco-fármaco de intensidad “severa” identificadas en las prescripciones de los casos y de los controles

INTERACCIÓN FÁRMACO- FÁRMACO	EFFECTO CLÍNICO	CASOS n (%)	CONTROLES n (%)
IECA* - ARAII**	Hipotensión, síncope, hiperkalemia, falla renal aguda.	9 (14.1)	6 (9.4)
βbloqueador - amiodarona	Hipotensión, bradicardia, paro cardíaco.	4 (6.2)	0 (0.0)
Bloqueador de canales de calcio - amiodarona	Hipotensión, bradicardia, paro cardíaco.	4 (6.2)	0 (0.0)
IECA** - diuréticos ahorradores de potasio	Hiperkalemia.	3 (4.7)	4 (6.2)
Enalapril - alopurinol	Síndrome de Stevens-Johnson, erupciones cutáneas, choque anafiláctico.	3 (4.7)	3 (4.7)
Espironolactona - digoxina	Toxicidad por digoxina (náusea, vómito y arritmias).	3 (4.7)	0 (0.0)
Diuréticos tiazídicos - digoxina	Toxicidad por digoxina (náusea, vómito y arritmias).	2 (3.1)	0 (0.0)
Nifedipina - digoxina	Toxicidad por digoxina (náusea, vómito y arritmias).	1(1.6)	1 (1.6)
Amlodipino - clopidogrel	Disminuye efecto antiagregante (aumenta riesgo trombotosis).	1 (1.6)	1 (1.6)
Captopril - alopurinol	Síndrome de Stevens-Johnson, erupciones cutáneas, choque anafiláctico.	1 (1.6)	1 (1.6)
Nifedipina - copidogrel	Disminuye efecto antiagregante (aumenta riesgo trombotosis).	1 (1.6)	0 (0.0)
Bloqueadores - verapamil	Hipotensión y bradicardia.	0 (0.0)	1 (1.6)
Bloqueadores de canales de calcio - digoxina	Arritmia, colapso cardiovascular.	0 (0.0)	1 (1.6)
Enalapril - potasio	Hiperkalemia.	0 (0.0)	1 (1.6)
Felodipino - itraconazol	Aumenta con concentración sérica de felodipino y cardiotoxicidad.	0 (0.0)	1(1.6)
Captopril - potasio	Hiperkalemia.	0 (0.0)	1 (1.6)
Telmisartán - digoxina	Toxicidad por digoxina (náusea, vómito y arritmias).	0 (0.0)	1 (1.6)

Tabla 5.

Modelos de regresión logística ajustados*

VARIABLES	OR	IC 95 %	p	OR	IC 95 %	p		
Edad	1.044	1.005	1.008	0.028	1.044	1.005	1.083	0.025
Número de fármacos	1.035	0.942	1.138	0.138	1.063	0.970	1.165	0.190
Dosis incorrecta antihipertensivo (+)	2.262	0.749	6.832	0.148	2.325	0.799	6.763	0.121
IF-F** (+)	5.813	2.044	16.528	0.001	--	--	--	--
IF-F** disminuye efecto antihipertensivo	--	--	--	--	2.575	1.104	6.009	0.029

Nota. * sexo, escolaridad, con/sin pareja y con/sin actividad laboral; ** IF-F= Interacción fármaco-fármaco.

Los modelos de regresión simple evidenciaron que las variables farmacológicas se asociaron a la presencia de EVC. En los modelos ajustados se identificaron como variables asociadas IF-F e IF-F que disminuyen el efecto antihipertensivo (Tabla 5).

El abordar los factores de riesgo es crucial para mitigar el aumento global de la EVC, así como el incremento de la discapacidad y mortalidad que esta condición médica ocasiona, particularmente en países de ingresos medios y bajos, como es el caso de México. Por lo tanto, lograr el control de la TA debe ser un objetivo primordial (Shahid et al., 2025), lo cual se complica debido a la presencia de múltiples enfermedades crónicas en un individuo, que los hace susceptibles a padecer polimedicación, condición que se ha convertido, a su vez, en un problema acuciante, en donde el riesgo de interacciones farmacológicas puede causar eventos adversos graves. Por lo que se ha planteado como una acción prioritaria mejorar la gestión de la medicación por parte de los médicos, ya que se ha reportado que la reducción de la TA sistólica en 10 mmHg puede disminuir significativamente el riesgo de complicaciones de la ECV en 25 % y la mortalidad por todas las causas en 27.0 % (Whelton et al., 2018).

Por otro lado, se ha reportado que la prescripción de antihipertensivos no es óptima ni se ajusta a las guías de hipertensión en muchos países, lo que plantea la necesidad de realizar esfuerzos coordinados para reducir la brecha entre la práctica y la evidencia, lo que permitiría mejorar las prácticas de prescripción para el manejo de la hipertensión (Abdelkader et al., 2023); bajo esta premisa, este estudio permitió visualizar la elevada prevalencia de multimorbilidad, polimedicación, esquemas combinados de tratamiento antihipertensivo incorrectos, así como el efecto negativo que ejercieron los errores de prescripción al asociarse a la presencia de EVC y que fueron identificados como IF-F e interacciones de antihipertensivos con fármacos que disminuyen su efecto, siendo principalmente el grupo terapéutico involucrado el de los AINEs.

Los AINEs son fármacos que pueden antagonizar los efectos de los antihipertensivos al inhibir la enzima ciclooxige-

nasa (COX), así como la síntesis de prostaglandinas (Maas & Böger, 2003), lo que provoca aumento de la presión arterial (Snowden & Nelson, 2011), efecto que ha sido documentado en pacientes previamente controlados, en los cuales, al exponerse a AINEs, se observó aumento de la presión arterial en 5.4 mmHg (Johnson et al., 1994). También se ha reportado un aumento de la TA de 3.5 a 6.2 mmHg con el uso de indometacina, naproxeno y piroxicam (Pope et al., 1993). Es importante considerar que este efecto negativo de los AINEs puede ser contrarrestado con la intensificación del tratamiento de antihipertensivo o bien evitar, en lo posible, el uso de estos fármacos, ya que, si bien el aumento de la presión arterial parece leve, el impacto clínico puede ser significativo en la práctica diaria (Fournier et al., 2012), como lo observamos en este estudio.

Otro resultado relevante es el relacionado con los potenciales efectos “severos” que se han descrito con las IF-F que se identificaron en el estudio y en las que la hipotensión fue una de las más frecuentes; este dato es importante, ya que es un factor de riesgo reconocido para resultados adversos, como eventos cardiovasculares que incluyen EVC, entre otros (Fedorowski et al., 2010). Por lo que la correcta selección de fármacos para el tratamiento de la HA y de otras enfermedades concomitantes representa un reto para los clínicos, ya que esta acción tiene un papel relevante en la atención médica y su correcta elección ejercerá un efecto positivo en el pronóstico de los pacientes.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio sustentan que la prescripción de antihipertensivos no es óptima y que se favorece el riesgo de que los pacientes hipertensos sufran EVC. Los problemas de prescripción identificados plantean la necesidad de implementar acciones coordinadas que incluyan la capacitación continua de los prescriptores, el diseño e implementación de protocolos de tratamiento, así como la introducción de apoyos electrónicos para la identificación de interacciones farmacológicas, aunado a la implementación de estrategias de mejora de la calidad. Además, es neces-

sario considerar la importancia de un enfoque preventivo en el que se promueva, entre el personal médico, la relevancia de prevenir errores de prescripción, así como fomentar, mediante acciones educativas, la participación activa de los pacientes para que utilicen correctamente sus medicamentos, logren identificar situaciones adversas relacionadas con los fármacos que consumen y, por último, notifiquen a su médico esta situación.

Por otro lado, es necesario considerar que este fue un estudio realizado en un ámbito hospitalario con caracte-

rísticas propias que no permite la generalización de los resultados; sin embargo, los hallazgos concuerdan con los reportados en la literatura y que se realizaron en ámbitos y poblaciones diferentes. Finalmente, el aporte de este trabajo se orienta a plantear la relevancia de desarrollar esta línea de investigación en nuestro medio y a gran escala, es decir, a nivel poblacional, mediante estudios farmacoepidemiológicos, así como a impulsar investigaciones dirigidas a evaluar estrategias que mejoren la utilización de medicamentos por parte del personal médico y de los pacientes.

REFERENCIAS

- Abdelkader, N.N., Awaisu, A., Elewa, H., & El Hajj, M.S. (2023). Prescribing patterns of antihypertensive medications: A systematic review of literature between 2010 and 2020. *Exploratory Research in Clinical and Social Pharmacy*, 11, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.rcsop.2023.100315>
- Aguilar-Salas, E., Rodríguez-Aquino, G., García-Domínguez, K., Garfías-Guzmán, C., Hernández-Camarillo, E., Oropeza-Bustos, N., Argüelles-Castro, R., Mitre-Salazar, A., García-Torres, G., Reynoso-Marenco, M., Morales-Andrade, E., Gervacio-Blanco, L., García-López, V., Valiente-Herves, G., Martínez-Marino, M., Flores-Silva, F., Chiquete, E. & Cantú-Brito, C. (2022). Acute Stroke Care in Mexico City: The Hospital Phase of a Stroke Surveillance Study. *Brain Sciences*, 12(7), 865. <https://doi.org/10.3390/brainsci12070865>
- Campos-Nonato, I., Oviedo-Solis, C., Hernández-Barrera, L., Márquez-Murillo, M., Gómez-Álvarez, E., Alcocer, L., Puentes-Barragán, A., Ramírez-Villalobos, D., Basto-Abreu, A., Rojas-Martínez, R., Medina-García, C., López-Ridaura, R., & Barquera, S. (2024). Detección, atención y control de hipertensión arterial (Detection, Care, and Control of Arterial Hypertension). *Salud Pública de México*, 66, 537-546. <https://doi.org/10.21149/15867>
- Carter, B.L., Lund, B.C., Hayase, N., Chrischilles, E. (2004). A longitudinal analysis of antihypertensive drug interactions in a Medicaid population. *American Journal of Hypertension*, 17(5), 421-427. <https://doi.org/10.1016/j.amjhyper.2004.01.007>
- Derington, C., Gums, T., Bress, A., Tita, S., Whittle, J., Johnson, K.C., Oparil, S., Whelton, P., Cushman, W.C., Biederman, R., & Muntner, P. (2019). Association of total medication burden with intensive and standard blood pressure control and clinical outcomes: a secondary analysis of SPRINT. *Hypertension*, 74(2), 267-275. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.12907>
- Diaconu, C.C., Cozma, M.A., Dobrică, E.C., Gheorghe, G., Jichitu, A., Ionescu, V. A., Nicolae, A.C., Drăgoi, C.M., & Găman, M.A. (2021). Polypharmacy in the Management of Arterial Hypertension—Friend or Foe? *Medicina*, 57(12), 1288. <https://doi.org/10.3390/medicina57121288>
- Fedorowski, A., Stavenow, L., Hedblad, B., Berglund, G., Nilsson, P.M., & Melander, O. (2010). Orthostatic hypotension predicts all-cause mortality and coronary events in middle-aged individuals (The Malmo Preventive Project). *European Heart Journal*, 31(1), 85-91. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp329>
- Feigin, V.L., Brainin, M., Norrving, B., Martins, S.O., Pandian, J., Lindsay, P., Grupper, M. & Rautalin, I. (2025). World Stroke Organization: Global Stroke Fact Sheet 2025. *International Journal of Stroke*, 20(2), 132-144. <https://doi.org/10.1177/17474930241308142>
- Fournier, J.P., Sommet, A., Bourrel, R., Oustric, S., Pathak, A., Lapeyre-Mestre, M., & Montastruc, J.L. (2012). Non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) and hypertension treatment intensification: a population-based cohort study. *European Journal of Clinical Pharmacology*, 68(11), 1533-1540. <https://doi.org/10.1007/s00228-012-1283-9>
- Fravel, M.A., & Ernst, M. (2021). Drug Interactions with Antihypertensives. *Current Hypertension Reports*, 23(3), 14. <https://doi.org/10.1007/s11906-021-01131-y>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022). Estadísticas de defunciones registradas 2021 (Statistics on registered deaths 2021) [Comunicado de prensa núm. 600/22]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/EDR/EDR2021_10.pdf
- Johnson, A.G., Nguyen, T.V., & Day, R.O. (1994). Do nonsteroidal anti-inflammatory drugs affect blood pressure? A meta-analysis. *Annals of Internal Medicine*, 121(4), 289-300. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-121-4-199408150-00011>
- Maas, R., & Böger, R.H. (2003). Antihypertensive therapy: special focus on drug interactions. *Expert Opinion on Drug Safety*, 2(6), 549-579. <https://doi.org/10.1517/14740338.2.6.549>
- Martin Alfonso, L., Bayarre Veá, H.D., & Grau Ábalo, J.A. (2008). Validación del cuestionario MBG (Martín-Bayarre-Grau) para evaluar la adherencia terapéutica en hipertensión arterial [Validation of the MBG (Martín-Bayarre-Grau) Questionnaire to Assess Therapeutic Adherence in Arterial Hypertension]. *Revista Cubana de Salud Pública*, 34(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662008000100012&lng=es&tlng=es
- Mino-León, D., Galván-Plata, M.E., Doubova, S.V., Flores-Hernández, S., & Reyes-Morales, H. (2011). Estudio farmacoepidemiológico de potenciales interacciones farmacológicas y sus determinantes, en pacientes hospitalizados [A pharmacoepidemiological study of potential drug interactions and their determinant factors in hospitalized patients]. *Revista de Investigación Clínica*, 63(2), 170-178. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=41195>

- Naseralallah, L., Stewart, D., Price, M., & Paudyal, V. (2023). Prevalence, contributing factors, and interventions to reduce medication errors in outpatient and ambulatory settings: a systematic review. *International Journal of Clinical Pharmacy*, 45(6), 1359-1377. <https://doi.org/10.1007/s11096-023-01626-5>
- National Coordinating Council for Medication Error Reporting and Prevention. (2025). *About medication errors*. <https://www.nccmerp.org/about-medication-errors>
- Pope, J.E., Anderson, J.J., & Felson, D.T. (1993). A meta-analysis of the effects of nonsteroidal anti-inflammatory drugs on blood pressure. *Archives of Internal Medicine*, 153(4), 477-484. <https://doi.org/10.1001/archinte.1993.00410040045007>
- Secretaría de Salud (29 de octubre de 2022). En 2021, ictus o enfermedad vascular cerebral ocasionó más de 37 mil decesos en México [Comunicado de prensa]. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/salud/prensa/531-en2021-ictus-o-enfermedad-vascular-cerebral-ocasiono-mas-de-37-mil-decesos-en-mexico>
- Shahid, S., Marsool, A. D., Sajjad, M., Saifullah, M., Alam, M.A., Ahmed, S.I., Ahmed, R., & Sultan, F. (2025). Epidemiology of stroke in Pakistan and its provinces, 1990–2021: Findings from the global burden of disease study 2021. *Global Epidemiology*, 10, 100211. <https://doi.org/10.1016/j.gloepi.2025.100211>
- Snowden, S., & Nelson, R. (2011). The effects of nonsteroidal anti-inflammatory drugs on blood pressure in hypertensive patients. *Cardiology in Review*, 19(4), 184-191. <https://doi.org/10.1097/CRD.0b013e31821ddcf4>
- Soares-Rodrigues, M.C., & De Oliveira, C. (2016). Drug-drug interactions and adverse drug reactions in polypharmacy among older adults: an integrative review. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, (24), e2800. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.1316.2800>
- Whelton, P.K., Carey, R.M., Aronow, W.S., Casey Jr, D.E., Collins, K.J., Himmelfarb, C.D., DePalma, S.M., Gidding, S., Jamerson, K.A., Jones, D.W., MacLaughlin, E.J., Muntner, P., Ovbigele, B., Smith Jr, S.C., Spencer, C.C., Stafford, R.S., Taler, S.J., Thomas, R.J., Williams, K.A., Sr.,.... & Wright Jr, J.T., (2018). 2017ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(19), e127–e248. <https://doi.org/10.1161/HYP.0000000000000066>
- World Health Organization (25 de septiembre de 2025). *Hypertension*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>

Experiencias y desafíos de las mujeres cuidadoras primarias de personas con discapacidad

Karla Marisol Teutli Mellado; Yolanda Martina Martínez Barragán; Teresita Romero Ogawa; Elena Aurora Popoca Hernández; Irene Aurora Espinosa De Santillana

RESUMEN

Fungir como cuidador primario de una persona con trastornos del desarrollo o discapacidad congénita o adquirida no suele ser por decisión o elección y la responsabilidad casi siempre recae en la madre o un familiar cercano, estatus demandante que implica dedicación total, sin remuneración y poco o nada reconocido, que impacta en el bienestar físico, mental y social. El objetivo es conocer las experiencias y los desafíos de las mujeres cuidadoras primarias en personas con discapacidad. El tipo de investigación fue cualitativa mediante la entrevista semiestructurada (dimensiones: historia, sentido e impacto del cuidado, redes de apoyo y necesidades) con tres mujeres cuidadoras pertenecientes a una fundación dedicada a la rehabilitación neurológica integral en personas con discapacidad. Se contó con la firma del consentimiento informado, aprobación para grabar y transcribir las entrevistas. El tipo de análisis fue del discurso, por la profundidad para muestras pequeñas. Dentro de los resultados se encontró que respecto al tiempo del cuidado fue de dos hasta treinta y cinco años; las participantes asumieron el rol de cuidadoras primarias por amor, consideran que la paciencia y la preparación son necesarias para afrontar la carga del cuidado. Entre los desafíos se encontraron con una preocupación a futuro de tipo legal para el cuidado de sus hijos en caso de fallecimiento de ellas, el rechazo y la discriminación de la sociedad. Como conclusión, las mujeres cuidadoras primarias aceptan el rol por amor y a pesar de los desafíos han desarrollado habilidades para afrontarlos, sus experiencias han modificado su vida, reconocen la importancia del autocuidado y de contar con redes de apoyo para que no haya un solo cuidador para la persona con discapacidad.

Palabras clave: experiencias, desafíos, cuidadoras primarias, discapacidad

Cómo citar: Teutli, K., Martínez, Y., Romero, T., Popoca, E., Espinosa, I. (2026). Experiencias y desafíos de las mujeres cuidadoras primarias de personas con discapacidad. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto8>

Experiences and Challenges of Primary Women Caregivers of People with Disabilities

ABSTRACT

Being the primary caregiver for a person with a developmental disorder or congenital or acquired disability is rarely a choice, and the responsibility almost always falls on the mother or a close relative. This demanding role involves total dedication, without remuneration and with little or no recognition, impacting physical, mental, and social well-being. The objective is to understand the experiences and challenges of women primary caregivers of people with disabilities. The research was qualitative, using semi-structured interviews (dimensions: history, meaning and impact of caregiving, support networks, and needs) with three women caregivers from a foundation dedicated to comprehensive neurological rehabilitation for people with disabilities. Informed consent was obtained from all participants, who also provided permission to record and transcribe the interviews. Discourse analysis was used due to its depth for small samples. The results showed that the duration of caregiving ranged from two to thirty-five years. The participants assumed the role of primary caregiver out of love and believe that patience and preparation are necessary to cope with the burden of caregiving. Among the challenges they encountered were future legal concerns regarding the care of their children should they die, as well as societal rejection and discrimination. In conclusion, these primary caregivers accept the role out of love, and despite the challenges, they have developed coping skills. Their experiences have transformed their lives, and they recognize the importance of self-care and having support networks so that there isn't only one caregiver for the person with a disability.

Keywords: Experiences, challenges, primary caregivers, disability.

INTRODUCCIÓN

Con el aumento de las enfermedades crónicas, existe una gran probabilidad de discapacidad que requerirá el apoyo y el cuidado constante de otras personas (Pacheco Barzallo et al., 2024). El cuidado implica el bienestar social, los derechos humanos y el desarrollo económico (CEPAL, 2024).

La Encuesta Nacional para el Sistema de Cuidados (ENASIC) tiene como propósito proporcionar información estadística sobre la demanda de los cuidados en los hogares y las personas que los brindan; identificar la demanda y la cobertura para la población objetivo de cuidados y de la población de 15 años y más que los otorga; e indagar las repercusiones en la vida de las personas cuidadoras, en específico de las mujeres, y el impacto en la incorporación laboral, en el que se evidencian las cargas de trabajo desiguales (INEGI, 2022).

Según la ENASIC, en 2022 había 58.3 millones de personas con necesidad de cuidados en México, lo que representa el 45.2 % de la población total. Este grupo incluye 10.3 millones de niños de primera infancia, 25.8 millones de niños y adolescentes de 6 a 17 años, 17 millones de personas mayores y 5.6 millones de personas con discapacidad o dependencia.

Aproximadamente el 15 % de la población vive con algún tipo de discapacidad, y son las mujeres quienes tienen más probabilidades de vivir con discapacidad, y las personas mayores más que los jóvenes. Entre las barreras con las que se enfrentan las personas con discapacidad figuran las de comunicación, las financieras, los espacios de salud inaccesibles y la falta de formación de los profesionales (Cumbre Mundial sobre Discapacidad, 2025). No obstante, si bien suele centrarse la atención en las personas con discapacidad, existe un desconocimiento importante relacionado con las necesidades y los desafíos de las y los cuidadores; ¿quién cuida de ellos?

El promedio en horas semanales que las y los cuidadores dedican al cuidado es de 38.9 para las mujeres y de 30.6 para los hombres (INEGI, 2022). Aun en los casos en los que los hombres y las mujeres comparten las responsabilidades, la carga de los cuidados sigue siendo más frecuente entre las cuidadoras en el hogar (CEPAL, 2024).

Dos de cada tres cuidadores familiares son mujeres, y son ellas quienes informan de una mayor carga física y emocional. A su vez, Abeasi et al. (2024) mencionan que el cuidar a una persona con discapacidad se asocia con estrés y que esta

carga de la enfermedad puede afectar de forma significativa la salud de los cuidadores. Además, las mujeres tienen peor salud mental y mayores cargas percibidas que los hombres por su mayor involucramiento en las tareas del cuidado (Herrero et al., 2024).

Las experiencias de los cuidadores están influenciadas por diversos factores, como la dificultad en los servicios y los equipos de salud, los dispositivos de asistencia, la pobreza y el estigma. Incluso, algunos cuidadores tienen experiencias positivas al cuidar a personas con discapacidad y afrontan efectivamente las demandas del cuidado, pero no todos tienen esa misma experiencia.

Cuidado

Se define como cuidado a las “actividades específicas que realizan las personas para atender, asistir, acompañar, vigilar y brindar apoyo a las y los integrantes del hogar o a las personas de otro hogar. La finalidad es buscar su bienestar físico y la satisfacción de las necesidades básicas” (INEGI, 2022). El cuidado es, de hecho, un proceso heterogéneo que implica una serie de tareas, y el efecto sobre el cuidador puede variar de manera significativa según la relación con la persona cuidada y si el cuidado es a corto, mediano o largo plazo (CEPAL, 2024).

La socialización que reciben las mujeres desde edad temprana determina, en la mayoría de los casos, su rol de género, que incluye el cuidado de los demás y, en muchos casos, se antepone el bienestar de otros por encima del propio y retoman este rol como parte de su naturaleza (Herrero et al., 2024).

Tipos de cuidado

• Cuidador formal

Se trata del tipo de cuidado brindado por servicios profesionales que son remunerados, que dependen de la situación personal y de la organización del sistema. Su intervención se determina por la situación personal del usuario, así como por la infraestructura disponible en el sistema de salud y de la asistencia social (Pacheco Barzallo et al., 2024).

• Cuidador informal

En este caso, es el tipo de cuidado realizado por la familia, los amigos o los vecinos y, generalmente, no son remunerados. Su participación es motivada por los lazos afectivos, el compromiso moral o la falta de alternativas institucionales (Pacheco Barzallo et al., 2024).

Se reconoce como las personas que cuidan a aquellas que “realizan actividades de cuidados para el beneficio de otras personas del hogar o de otros hogares. Lo anterior puede ser porque lo requieran por su edad, su condición de salud, su discapacidad o su dependencia. También pueden ser infantes, niñas, niños, adolescentes, personas adultas mayores, personas con discapacidad física o mental, o personas con alguna enfermedad temporal” (CEPAL, 2024).

La concentración de las mujeres que asumen el papel de cuidadoras principales entre los 20 y los 49 años coincide

con las edades específicas para la educación superior y la inserción en el mercado laboral, lo que conlleva implicaciones significativas para su autonomía económica, sobre todo si se tiene en cuenta que, del total de las mujeres cuidadoras del hogar, el 28.8 % no puede trabajar fuera de casa y el 23 % ha tenido que dejar de trabajar (CEPAL, 2024).

Personas con discapacidad y dependencia

La discapacidad es una condición a largo plazo que implica el daño en muchos dominios del desarrollo de una persona, por lo que enfrentan retos para su vida diaria, como la movilidad, la alimentación, el baño y la comunicación, etc. También experimentan problemas del sueño y conductas retadoras que incluyen la hiperactividad, la impulsividad, las autolesiones, la agresión y el comportamiento destructivo; además, requieren apoyo y cuidado de tiempo completo para un funcionamiento efectivo (Abeasi et al., 2024).

De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS, s. f.), las personas con discapacidad son aquellas que tienen deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, en interacción con diversas barreras, pueden obstaculizar su participación plena y efectiva en la sociedad en igualdad de condiciones con los demás. Las personas con discapacidad no constituyen un grupo homogéneo; sus experiencias vitales, sus identidades superpuestas y sus contextos diversos determinan los tipos y la intensidad de las barreras, los costos y las desigualdades a las que tendrán que enfrentarse (Cumbre Mundial sobre Discapacidad, 2025).

Discapacidad y dependencia son categorías diferentes. Por un lado, la discapacidad es un concepto más amplio que puede o no dar lugar a la dependencia, mientras que la dependencia implica siempre la necesidad de ayuda de terceros. Por otra parte, la discapacidad suele medirse en términos de limitaciones funcionales y restricciones relacionadas con la participación en la comunidad, mientras que la dependencia se mide solo en términos de necesidad de asistencia para llevar a cabo determinadas actividades específicas. Esta distinción es fundamental para lograr una comprensión precisa de los grupos, los objetivos y la planificación efectiva de las políticas y los servicios (CEPAL, 2024).

El reconocimiento inadecuado de las necesidades de atención de las personas con discapacidad intelectual puede dificultar la armonización de la atención basada en la evidencia y centrada en la persona, agravado por algunos problemas como el estigma, los conceptos erróneos y la opacidad diagnóstica (Van den Bemd et al., 2024). Aunque se ha progresado en la incorporación al mundo de las personas que viven con discapacidad, sus necesidades no están totalmente resueltas, pues aún persisten barreras estructurales que impiden la plena garantía de sus derechos (Gajardo Espinoza et al., 2024).

Objetivo: El propósito es conocer las experiencias, las implicaciones emocionales y los desafíos de las mujeres cuidadoras primarias de las personas con discapacidad y dependencia.

METODOLOGÍA

El tipo de investigación fue cualitativa, el tipo de análisis fue del discurso, por la profundidad para explorar muestras pequeñas debido a su enfoque interpretativo.

Entorno de investigación

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de una fundación dedicada a la rehabilitación neurológica integral en personas con discapacidad, en Puebla, México. Este lugar fue accesible para la mayoría de los cuidadores. Ello facilitó la realización de la investigación.

Participantes

Los criterios de inclusión consistieron en los siguientes: ser cuidadora primaria o cuidador primario o madre o padre de una persona con discapacidad, tener más de 18 años, estar al cuidado por más de seis meses y otorgar su consentimiento.

Recolección de datos

En principio, a las participantes se les proporcionó la información suficiente en relación con el propósito del estudio, la duración, el anonimato estricto y la confidencialidad de los datos, y se disiparon las dudas que surgieron. Se recabó la firma del consentimiento informado, así como la aprobación para grabar y transcribir las entrevistas. Las autoras diseñaron y desarrollaron una guía de entrevista para facilitar su proceso. Al inicio de la entrevista se hizo la presentación y se creó un ambiente de empatía, respeto y confianza. La entrevista semiestructurada tuvo las siguientes dimensiones: historia, sentido e impacto del cuidado, redes de apoyo y necesidades. Las entrevistas se llevaron a cabo cara a cara en un espacio designado para ello, con una duración aproximada de 30 m (ver Tabla 1) y se grabaron con registro de voz. Todas las entrevistas se realizaron en junio de 2025.

En la carta de consentimiento informado se incluyeron las consideraciones éticas, tales como la autonomía, el respeto, además de la confidencialidad, la privacidad y el manejo de los datos; el estudio se centró en las participantes adultas. Los mecanismos adicionales para garantizar el bienestar emocional de los participantes incluyeron la beneficencia y no maleficencia, pues las participantes tenían la libertad y el derecho de retirarse en el momento que sintieran incomodidad durante la entrevista, algo que fue explicado al inicio de la entrevista y se prestó atención a las reacciones emocionales. También se fomentó la escucha activa y la empatía, lo que permitió que se sintieran en confianza.

Análisis de datos

Las entrevistas grabadas se escucharon de manera activa antes de iniciar con la transcripción. Dicha transcripción se realizó de forma manual, ya que facilita una inmersión profunda en los datos, pausas y tonos (Abeasi et al., 2024). Los datos se analizaron a través del análisis del discurso, ya que es una orien-

tación más interpretativa que intenta estudiar la organización del lenguaje y de la conversación que se relaciona con el uso del lenguaje en los contextos sociales y, concretamente, con la interacción o el diálogo entre los hablantes (Iñiguez Rueda, 2013). El análisis del discurso permite explorar aspectos de las voces de los participantes; además, posibilita identificar los elementos que configuran la realidad estudiada, describe las relaciones entre ellos y sintetiza el conocimiento resultante (De Andrés Pizarro, 2000).

La primera fase consistió en la segmentación, que consiste en la separación del conjunto de los datos (textos, observaciones) en unidades, de acuerdo con las categorías previamente establecidas, definidas a priori a partir del marco conceptual previo de la guía de entrevista. Después, se establecieron los códigos por colores para distinguir cada fragmento de la información; finalmente, se identificaron los temas clave. Estas categorías fueron procedentes de un marco conceptual derivado de la literatura revisada, las cuales permitieron tener un hilo conductor del análisis, con lo que se pudieron confrontar la teoría y los datos de una manera reflexiva. Además, se agregaron otras categorías emergentes durante el proceso de análisis del corpus (sección de resultados). Con el entrecruzamiento de ambas categorías (inductivas y deductivas) se logró realizar una interpretación con mayor profundidad.

Adicionalmente, se realizó un proceso de codificación consistente en el etiquetamiento y la desagregación de los pasajes textuales de acuerdo con las categorías previamente establecidas. El etiquetamiento o rotulación es la identificación de un pasaje como realización de una categoría determinada. La desagregación es la extracción de estos pasajes (Sayago, 2014).

Se utilizó una hoja de Excel, programa en el que las entrevistas fueron analizadas de forma independiente por dos investigadoras; finalmente, se realizó un consenso de forma conjunta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características sociodemográficas

En la Tabla 1 se muestran aspectos relevantes a la investigación como: las edades, el estado civil, la duración del cuidado y la relación con la persona a su cuidado. Como se observa, las tres cuidadoras fueron mujeres maduras cuyas edades fluctuaron entre los 52 a los 57 años ($M=54.96$, $D.E.=2.64$), dos casadas y una soltera, el tiempo de cuidado osciló de los dos hasta los treinta y cinco años. Los diagnósticos de la discapacidad fueron: Alzheimer, discapacidad intelectual y síndrome de Lennox Gastaut.

Los resultados permiten reflejar la posición que tienen las participantes respecto a las diferentes categorías, ya que se desvelan las relaciones profundas con su contexto social, como es enunciado por De Andrés Pizarro (2000); de los métodos cualitativos no se obtiene una validez predictiva (generalizable y extrapolable), sino que estos métodos se centran en la profundización integral de un caso concreto.

Tabla 1.
Descripción de las entrevistas

No.	DURACIÓN	EDAD	ESTADO CIVIL	NIVEL EDUCATIVO	TIEMPO DE CUIDADORA	PERSONA A LA QUE CUIDA	TIPO DE DISCAPACIDAD	RESPONSABILIDAD COMPARTIDA DEL CUIDADO
1	27.29 m	57	Soltera	Superior	2 años	Madre	Alzheimer	Sí
2	24.18 m	56	Casada	Medio superior	23 años	Hijo	Discapacidad intelectual	Sí
3	15.48 m	52	Casada	Medio superior	35 años	Hijo	Síndrome de Lennox-Gastaut	No

Las categorías emergentes que se encontraron fueron las siguientes: historia de vida, impacto familiar, redes de apoyo, aspectos emocionales de ser cuidadora, necesidad de aprendizajes y propuestas de mejora para las cuidadoras. Cada una de ellas se desagrega en subcategorías (ver Figura 1).

Primera categoría: historia de vida

Esta categoría permea de manera similar en las tres entrevistas. Las subcategorías son dos: la primera es la no aceptación. Ello incluye la asunción de no estar conforme con las circunstancias, la confrontación con creencias profundas de la persona, la negociación, así como la despersonalización (referida como la pérdida de la vida en su sentido original). La otra subcategoría es la aceptación del hecho y de las circunstancias que lo rodean.

En consecuencia, haber convivido con su madre en una relación familiar de madre-hija, y darse cuenta de que las circunstancias se han modificado al extremo es complejo, hasta determinar la necesidad de cuidar de ella en todos los aspectos por los riesgos que puede tener por su estado de salud; ello se aprecia en lo que menciona dicha participante:

“Y hacemos cargo de ella, pero ella no ha querido. Hasta que un día nos habló y fuimos a ver a las hermanas. Mi hermano trabajó ese día y nos dijo, ¿saben qué? Yo ya quiero que, yo ya me di cuenta de que no puede estar sola” (P1, hija, 57 años).

Las dinámicas de la familia son diversas, pero saber que se tiene salud es una condición que se valora; sin embargo, cuando una enfermedad aparece o la discapacidad, todo cambia y la manera de afrontarla es diversa, así lo expresan:

“Pero somos cuatro con diferentes maneras de pensar. Con diferentes formas de ser”. “Y de hecho me culpaba de haberle robado. Entonces, me dolió mucho...” (P1, hija, 57 años).

Las historias de vida relatan una “normalidad” en el devenir de los días, aunque las condiciones sorprendentes y apremiantes, como las crisis convulsivas de difícil control y deterioro neurológico, son percibidas como complicadas:

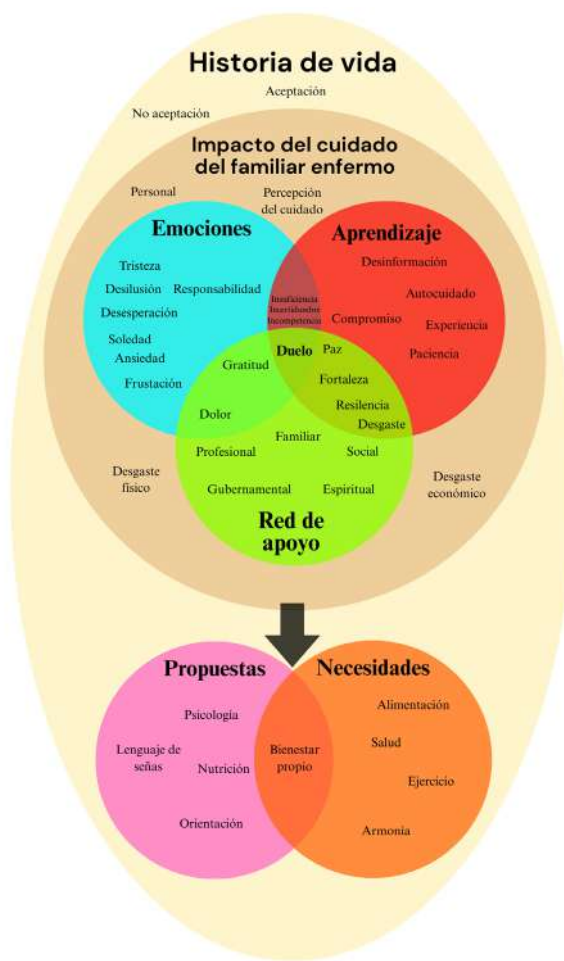


Figura 1.
Categorías y subcategorías derivadas de las entrevistas semiestructuradas

“Ellos saben que hay que llevarnos a mi mamá y hay que cuidarla” (P1, hija, 57 años). “Me llevé años aceptarlo y cambiar hasta que dije: bueno va a cambiar, a lo mejor era protesista, pero bueno ahora voy a ser rehabilitadora, entonces me llamó así y luego me preguntan..., en la sociedad somos muy mal vistas las amas de casa” (P2, madre, 57 años). “Es muy complicado y difícil al pensar aceptar un hijo que esté enfermo” (P3, madre, 52 años).

La **segunda categoría** versa sobre el impacto del cuidado del familiar enfermo.

En esta categoría se pueden observar cinco subcategorías: personal, desgaste físico, desgaste emocional, desgaste económico y la percepción del cuidado.

Las actividades que se habían desarrollado en su vida cotidiana se ven modificadas por las nuevas circunstancias, en la esfera personal dentro del ámbito laboral, el impacto lo refieren del siguiente modo:

“Dejé mi trabajo para dedicarme a mi hijo” (P2, madre, 56 años).

“Es complicado porque no nada más influye a la persona enferma, sino que influye a todo el entorno, a toda la familia... difícil aceptar un hijo que esté enfermo ‘todo el mundo es libre de tomar decisiones o de planificar... yo no puedo decir voy a ir a una fiesta el sábado porque no lo sé’” (P3, madre, 52 años).

Las relaciones entre los miembros de las familias pueden tomar matices insospechados; la atención al familiar enfermo es demandante de tiempo y la percepción de los demás miembros de la familia es importante; escuchar sus voces resulta sumamente necesario:

“El entorno familiar es complicado, porque en este caso mi otro hijo decía que su hermano le robó la vida” (P3, madre, 52 años).

El desgaste físico se hace presente, al sentirse en realidad cansados, agotados. Ello se expresa así:

“Debo descansar” (P2, madre, 56 años).

También se hace presente el desgaste emocional; se acompaña de otras situaciones de relación y de segregación y discriminación en otros ambientes:

“Enojo, frustración y rabia con el sistema de salud. Ausencia de red familiar. Falta de herramientas para ayudarlo, discriminación por la sociedad, también familiar. Alteraciones con el entorno social respecto a la toma de decisiones en un día habitual por la dependencia en el cuidado de la persona con discapacidad. Actitudes negativas de otras personas, tensión con la familia” ... “Yo creo que lo más difícil, es lo emocional en lo que no lograba hacer, en la rehabilitación” (P2, madre, 56 años).

“Le echan cloro, botellas de cloro y cloro a la alberca porque habían entrado los niños con discapacidad. Entonces, yo creo que hay una discriminación tan grande, si entre familias, entre mi sobrino decía que su primo loco había llegado, entonces, ¿qué puedes esperar de otro?” (P3, madre, 52 años).

En relación con el desgaste económico las actividades, las consultas con médicos, fisioterapia, etc., se reflejan de este modo:

“Sí fue fuerte porque de ser una persona independiente económicamente y que pues yo ... percibía bastante dinero, un ingreso bastante importante, al no tenerlo, y tener que depender de mi esposo” (P2, madre, 56 años).

En cuanto a la percepción del cuidado, las cuidadoras expresaron la responsabilidad, la complicación, lo difícil y la exigencia que demanda serlo y, por otra parte, forma parte de un proceso, un duelo. Al leer los textos, fue posible identificar que, además del rol de cuidadora autoelegido, como cuidadoras primarias llevan un proceso de duelo que, como menciona Pascual y Santamaría (2000), consta de una fase de shock, seguida de una fase de evitación, posteriormente la fase de desesperación-entrega al dolor y, por último, una fase de recuperación-reorganización. En el que resulta interesante encontrar que el asumir tener un hijo discapacitado o, después del diagnóstico, se entiende como duelo, no como una enfermedad, como un proceso (de altas y bajas) y de cronología indeterminada, que está determinado por un entorno sociocultural (Pascual y Santamaría, 2000).

“Al cuidador se le exige mucho”, “como cuidador tengo mucha responsabilidad... no paramos”, “fue difícil al principio”, “una exigencia muy fuerte”, “es la impotencia y el dolor como madre de no poderle ayudar y ver cómo se van deteriorando y nadie, nadie te puede ayudar” (P2, madre, 56 años).

“Es un proceso muy complicado como padres aceptar la enfermedad..., es como un duelo... primero uno se enoja, luego llora, luego se desespera, luego viene como que la aceptación y por último la calma o la paz”. “Tristemente, últimamente he dejado de ser yo” (P3, madre, 52 años).

La **tercera categoría** es la red de apoyo. Las subcategorías que la conforman son las siguientes: familiar, profesional, apoyo social, apoyo espiritual, apoyo económico, apoyo gubernamental. La cuidadora observa que se encuentra en muchos momentos sola. Todas refieren que requieren apoyo por parte de una red de familiares, quienes refieren:

“No tiene tiempo” ... “Uno de mis hermanos me dice, no, ya no vayas, mejor” (P1, hija 57 años).

“Y es cuando le detectaron la enfermedad. Y fue cuando, pues ya empezamos a decidir cómo vamos a cuidarla., si tienes a alguien que está a tu lado, que te apoye con él. Si estás solo, solamente Dios te puede ayudar. Porque tú solo no puedes vencer una enfermedad. Pero si tu entorno, un familiar, un amigo, alguien está a tu lado, la carga es menos pesada” (P3, madre, 52 años).

La **cuarta categoría** aspectos emocionales y capacidades de ser cuidadora. Se divide en dos subcategorías, cuya línea divisoria se entrelaza con la última etapa del duelo que es la aceptación. La subcategoría previa a la aceptación considera: la tristeza, el dolor, la desesperanza, la desesperación, la frustración, la desilusión, la soledad, la exigencia, el compromiso, la responsabilidad, el sufrimiento, la despersonalización y el aislamiento. La segunda subcategoría incluye la fortaleza, la paciencia, la paz, la gratitud, la resiliencia, aceptar el deterioro progresivo de su familiar, reconocer la incertidumbre por el futuro y un camino de resistencia.

El parteaguas del aspecto emocional es la aceptación como última etapa del duelo, y puede percibirse en lo que los participantes comparten:

“Yo no aceptaba que estuviera enferma. O que perdiera mi trabajo”, “Pues yo creo que debemos tener más paciencia. O sea, que tan poco estamos preparados para eso” ... “Me da mucho sentimiento”, “Porque sabe que somos fuertes e inteligentes” (P1, hija, 57 años).

Algo importante es el empoderamiento que demuestran las cuidadoras, observado desde el fortalecimiento que incluye el sentido de humanización e interés por el bienestar del otro, debido a que comparte elementos esenciales como la solidaridad, el bienestar común, la participación (Campo Erazo & Giraldo Moreno, 2015); esto también refuerza la idea de que piensan primero en el ser que están cuidando que en ellas mismas.

“Y es que el cuidador como papás como mamá nos tenemos que empoderar porque la familia nos ve muy mal, al cuidador se le exige mucho, yo sufrí mucho al principio, emocionalmente era terrible porque hay una autoevaluación empezando por ser los papás, a mí nadie me paga y no veo a alguien externo, es mi hijo y soy la mamá. Entonces como cuidador tengo mucha responsabilidad, la técnica de Glenn Doman es 24/7, 24 horas y 7 días, no paramos; hoy por hoy 23 años no puedo parar 24/7 y yo lloraba porque no podía cumplirle, tengo otra hija y tengo esposo, entonces aun cuando involucré a mi hija en las mismas actividades, talleres, todo lo que tenía de actividades mi hijo de rehabilitación e implicaba a mi hija también” (P2, madre, 56 años).

Como estrategia de afrontamiento ante el cuidado se incluye la parte espiritual y sus creencias, lo que demuestran como un aspecto gratificante.

“Y lo más gratificante pues, bendito sea Dios que pues yo en lo particular, yo me acerqué más a Dios, también estudié más, me acerqué más a mi religión católica, fue una fortaleza. Eso es lo que me lleva a la alegría, a la aceptación, a ser feliz, a que mi hijo me vea más tranquila, más feliz con él, al amor, que ese regalo de Dios

nos da de los hijos” (P2, madre, 56 años).

“Es una vida de resistencia porque con tantos altibajos, como yo les digo, hay días buenos, malos y peores” ... “Pero al transcurso del tiempo, después de treinta y tantos años, hoy les puedo decir que estoy tranquila y en paz”, “Necesito acompañamiento de un médico, de terapias” (P3, madre, 52 años).

La **quinta categoría** es la necesidad de aprendizajes. Dentro de ella, la primera subcategoría refiere a como identificaron la desinformación que al principio vivieron, el aprendizaje sobre nutrición, psicología, lenguaje para personas con discapacidad auditiva, el aprendizaje mediante la literatura y la orientación de pares. Además, la subcategoría que emerge de este aprendizaje fue la autodenominación como cuidadora primaria.

“Recuperarme de esas pérdidas. Entonces, busqué un curso de tanto cuidado. Para que me ayudara a entender” ... “Compré un libro que me recomendó una tanatóloga”, “A ver médicos ¿Qué médicos tengo que ver? Ah, pues que el psicólogo, el neurólogo, el geriatra” ... “Pero si ese antojo le va a ocasionar la grasa o algo. Entonces yo debo de ser consciente”, “Porque soy un cuidador en esa parte.” Y por eso es por lo que quiero aprender eso. En eso estoy buscando. Porque quiero darle el mejor cuidado” ... “Pero es que no te duele. Pero todo se puede. Todo se puede aprender” (P1, hija, 57 años)

“Desafortunadamente en aquellos tiempos no había un diagnóstico como tal, O sea, los mismos médicos y neurólogos no sabían qué era lo que tenía” ... “no conocer qué es lo que tiene tu hijo, no sabes cómo tratarlo, años y años en hospitales, porque fueron años de quedarnos una semana, 15 días, 20 días en el hospital, porque ni médicos, ni nosotros como padres, sabíamos cómo tratarlo (P3, madre, 52 años)

“Y mi trabajo es muy importante, porque tengo que prepararme, de prepararme en la rehabilitación, en conocimientos básicos de ¿cómo funciona el cerebro?, ¿cómo funciona sus necesidades?, ¿por qué se inflama?, nutrición, psicología, van implícitos muchísimos conocimientos en los que yo hoy por hoy me sigo preparando” ... “A sus actividades yo estoy totalmente dedicada a estar estudiando, a seguir estudiando, yo estudio la lengua de..., para sordos”, “les digo que soy cuidadora. Hoy por hoy así me llamó, así me hago. ¿Qué haces? Ah pues mis actividades, yo soy cuidadora” (P2, madre, 56 años).

La **sexta categoría** son las propuestas de mejora para las cuidadoras. El enfoque de la autodenominación como cuidadoras permite identificar dos subcategorías: autocuidado, buscan disminuir el estrés, vivir con aceptación de sus condiciones y circunstancias, capacitarse para su autocuidado, ser suficientes.

En este acápite la segunda subcategoría es generar estrategias de afrontamiento en el cuidado y de apoyo: club de niños con discapacidad.

“Con mucha paciencia. Si fuera mi padre, si fuera mi hermano, o si fueran mis hijos, con mucho amor ...Y con sabiduría. Y que, si tú te pasó esto, bueno, pláticalo. Para que cuando a mí me pase” ... alejarse de alguien que la cuide, la apoye, mientras el tiempo que está o visitar” (P1, hija, 57 años).

“Y luego esa palabra del empoderamiento me parece muy buena y ponernos nuestros propios reconocimientos, ¿no?, darnos el reconocimiento que somos y de lo que, si hacemos y lo que, si damos, porque casi siempre nos vamos a lo que no podemos, lo que no hicimos, pero hay que reconocer lo que, si hacemos, lo que sí podemos porque si hicimos y que bueno que ahorita a través del tiempo está mirando todo lo que sí, y decir es suficiente, soy suficiente (P2, madre, 56 años).

“Me gustaría que llegara a los papás, que hubiera folletos, que hubiera trípticos, hasta nuestros datos, nuestros números de grupos de familia, de verdad, de fundaciones como la fundación RENID, en donde ellos se pudieran refugiar, llegar a preguntar, aprender, encontrar que sí, ya hay un camino, ya hay muchas opciones y hay un apoyo entre los familiares, porque nadie como los papás especiales para los niños especiales, nosotros también somos papás especiales. Nadie nos va a entender, más que otro que esté pasando por lo mismo, “darme mi tiempo... volver a hacer cosas que me hacían feliz” (P2, madre, 56 años).

“Necesito ver a un psicólogo, necesito que los médicos sean más inteligentes, necesito que el gobierno nos ponga escuelas para niños con educación especial (P3, madre, 52 años).

Ahora bien, como menciona Van dem Bend (2024), se requiere prestar más atención a las políticas, la práctica clínica y la investigación para los pacientes con discapacidad. Se reconoce la importancia del estrés y la carga física y mental, como afirman Herrero et al. (2024), quienes realizaron un estudio en cuidadoras de personas con autismo y enfatizaron la importancia del rol de género en el cuidado, ya que ellas son quienes cuidan más horas, perciben mayor carga y muestran una salud mental en peores condiciones que los hombres.

Todo ello demuestra por qué es necesario que las cuidadoras requieran estar conectadas con otras cuidadoras. El establecimiento de tales redes les permite compartir experiencias y consejos parentales, tal como lo sugieren D'Arcy et al. (2024). Cabe coincidir con lo que abordan Abeasi et al. (2024), en el sentido de que las cuidadoras tienen experiencias con consecuencias negativas, que afectan su salud física, psicológica y social, por lo que se debe priorizar su salud, para mejorar su bienestar y calidad de vida, y así abordar los desafíos del cuidador.

CONCLUSIONES

En este estudio, de acuerdo con la historia de vida de las mujeres cuidadoras primarias, tienen experiencias positivas que les permiten afrontar el cuidado con resiliencia, con el apoyo de sus creencias y espiritualidad; sin embargo, también han tenido vivencias negativas, como el desgaste físico y emocional evidente, dado que la carga ha sido permanente y prolongada. Después de un proceso doloroso y de duelo, como así lo denominan, las cuidadoras primarias en la actualidad toman un rol activo y se consideran suficientes, en el que resignifican el papel de “cuidadora” como una profesión que les da un estatus mayor.

El empoderamiento, visto como el fortalecimiento de sus habilidades tanto para ellas mismas como para las personas que cuidan, las hace sentirse suficientes con el papel que desarrollan en este proceso; además, el hecho de que las mujeres cuidadoras cumplan con este papel les ha permitido llegar a la aceptación después de un proceso largo de duelo y encontrar paz. Son mujeres resilientes que tienen deseos de continuar con un aprendizaje para la vida, tanto para ellas mismas como para mejorar sus capacidades y habilidades como cuidadoras primarias.

Los desafíos cotidianos de las cuidadoras primarias se encuentran en las actividades que resultan rutinarias para cualquier persona; sin embargo, para una persona con discapacidad resultan complejas, como la alimentación, el aseo personal, la hora de dormir, etc. La carga de la enfermedad, especialmente de la cuidadora primaria, representa toda una vida llena de retos diarios y pequeñas gratificaciones a través de los logros de las personas a su cuidado. Hay preocupación manifiesta por los aspectos legales que habría que establecer como previsión cuando la cuidadora falte o fallezca. Visibilizar el papel de las cuidadoras primarias y establecer redes de apoyo con personas en situaciones similares representa una gran estrategia de afrontamiento para sobrellevar el proceso de cuidado y autocuidado. Emerge el tema de la necesidad de buscar asesoría sobre la disponibilidad de normativas o instrumentos dirigidos a resolver la continuidad de los cuidados requeridos por la persona cuando la cuidadora principal falte o fallezca.

Finalmente, las mujeres cuidadoras primarias viven este rol por amor y, a pesar de los desafíos y de haber desarrollado múltiples habilidades para ofrecer un mejor cuidado, como mujeres maduras y comprometidas, continúan con el aprendizaje para la vida. Sus experiencias han resignificado su vida, situación que les ha permitido aceptar, adaptarse y vivir con plenitud y paz, después de un proceso complicado, difícil y doloroso, en el que reconocen la importancia del autocuidado para poder cuidar a los demás.

REFERENCIAS

- Abeasi, D. A., Nkosi, N. G., Badoe, E., & Adjeman, J. (2024). Caring by default: experiences of caregivers of children with developmental disabilities in Ghana mirrored in the context of the stress process model. *BMC nursing*, 23(1), 482. <https://doi.org/10.1186/s12912-024-02142-1>
- Campo Erazo, A.M. & Giraldo Moreno, L.M. (2015). Empoderamiento de la mujer y construcción del sujeto político a partir del cuidado del otro y de sí mismo. *Revista Gestión y Región*, (19), 73-94. <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/gestionyregion/article/view/396>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2024). Sobre el cuidado y las políticas de cuidado (On care and care policies). <https://www.cepal.org/es/cuidado-politicas-cuidado>
- D'Arcy, E., Burnett, T., Capstick, E., Elder, C., Slee, O., Girdler, S., Scott, M. & Milbourn, B. (2024). The well-being and support needs of Australian caregivers of neurodiverse children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 54(5), 1857-1869. <https://doi.org/10.1007/s10803-023-05910-1>
- De Andrés Pizarro, J. (2000). Qualitative study análisis. *Atención primaria*, 25(1), 42-46. [https://doi.org/10.1016/s0212-6567\(00\)78463-0](https://doi.org/10.1016/s0212-6567(00)78463-0)
- Gajardo Espinoza, K., Hernández-Tapia, M.C., Campos-Bedolla, M.L., Zardel Jacobo, B. E., Salazar Silva, M.deL., Cáceres-Iglesias, J. (2024). Diez años de investigación educativa sobre discapacidad en México y proyecciones (Ten years of educational research on disability in Mexico and future prospects). *Perfiles Educativos*, 46(185), 130-147. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2024.185.61376>
- Global Disability Summit (Cumbre Mundial sobre Discapacidad) (2025). Informe mundial sobre inclusión de la discapacidad (World report on disability inclusion). https://www.globaldisabilitysummit.org/wp-content/uploads/2025/03/SP_UNICEF-Global-Disability-Summary_Pr3final_web.pdf
- Herrero, R., Díaz, A., & Zueco, J. (2024). The Burden and Psychological Distress of Family Caregivers of Individuals with Autism Spectrum Disorder: A Gender Approach. *Revista de Medicina Clínica*, 13(10), 2861. <https://doi.org/10.3390/jcm13102861>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2022). Encuesta Nacional para el Sistema de Cuidados (ENASIC) 2022, Principales resultados [National Survey for the Care System (ENASIC) 2022, Main results]. https://inegi.org.mx/contenidos/programas/enasic/2022/doc/enasic_2022_presentacion.pdf
- Íñiguez Rueda, L. (2003). El análisis del discurso en las ciencias sociales: variedades, tradiciones y práctica. En: L. Íñiguez Rueda (Ed.) *Análisis del discurso. Manual para las ciencias sociales* [Discourse analysis in the social sciences: varieties, traditions, and practice. In: L. Íñiguez (Ed.) *Discourse Analysis: A Handbook for the Social Sciences*] (pp. 83-124). Editorial UOC. <https://es.scribd.com/doc/79032230/5-El-Analisis-Del-Discurso-en-Las-Ciencias-Sociales>
- Organización Panamericana de la Salud. (s. f). *Discapacidad* (Disability). <https://www.paho.org/es/temas/discapacidad>
- Pacheco Barzallo, D., Schnyder, A., Zanini, C., & Gemperli, A. (2024). Gender Differences in Family Caregiving. Do female caregivers do more or undertake different tasks? *BMC Health Services Research*, 24(730). <https://doi.org/10.1186/s12913-024-11191-w>
- Sayago, S. (2014). El análisis del discurso como técnica de investigación cualitativa y cuantitativa en las ciencias sociales (Discourse analysis as a qualitative and quantitative research technique in the social sciences). *Cinta de moebio*, (49), 1-10. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-554X2014000100001>
- Toledano-Toledano, F., & Luna, D. (2020). The psychosocial profile of family caregivers of children with chronic diseases: A cross-sectional study. *BioPsychoSocial Medicine*, 14, 29. <https://doi.org/10.1186/s13030-020-00201-y>

Análisis geohistórico de la tipología documental en la comunicación científica mexicana, 1792-1979

Andrea Valencia Martínez; Ezequiel Vallejo Ríos

RESUMEN

La comunicación científica es entendida como el conjunto de prácticas, soportes y discursos mediante los cuales la ciencia ha sido registrada, transmitida y preservada a lo largo del tiempo. Históricamente, la comunicación científica ha mostrado cambios en sus formas de presentar la información; es decir, ha existido una diversificación en los tipos de documentos que tienen carácter científico. En ese sentido, este trabajo toma como fuente principal el Atlas Histórico de la Ciencia Mexicana para realizar un análisis que permite identificar y caracterizar los distintos tipos de documentos que han conformado la producción científica en México en el periodo de 1795-1979, a través de la bibliominería metodológica, la cual comprende el uso de herramientas y técnicas computacionales para el análisis masivo de metadatos y contenidos textuales. Para realizar este estudio, se consideran tres perspectivas: 1. Histórica, la cual marca la evolución de tipos de documentos en relación con los cambios en las formas de hacer ciencia y comunicarla; 2. Geográfica, la cual identifica los espacios de producción de conocimientos; y 3. Bibliográfica, la cual caracteriza los rasgos estructurales de los documentos que permiten clasificarlos en categorías de tipos de investigación como histórica, analítica, teórica y experimental. Los resultados preliminares permiten delinear patrones de producción del conocimiento científico en México desde una perspectiva geohistoriométrica, revelando cómo se han articulado los cambios en el contexto científico con las formas de la escritura científica. Asimismo, el estudio muestra el potencial de la bibliominería como herramienta para el análisis documental en investigaciones históricas, geográficas y bibliográficas.

Palabras clave: comunicación científica, tipos de documentos, bibliominería metodológica.

Cómo citar: Valencia, A., Vallejo, E. (2026). Análisis geohistórico de la tipología documental en la comunicación científica mexicana, 1792-1979. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto9>

Geo-Historical Analysis of Documentary Typologies in Mexican Scientific Communication, 1792-1979

ABSTRACT

Scientific communication is understood as the set of practices, media, and discourses through which science has been recorded, transmitted, and preserved over time. Historically, scientific communication has shown changes in its ways of presenting information; that is, there has been a diversification in the types of documents that have a scientific nature. In this sense, this work takes as its main source the Atlas Histórico de la Ciencia Mexicana, in order to carry out an analysis that allows the identification and characterization of the different types of documents that have constituted scientific production in Mexico during the period 1795-1979, through methodological bibliomining, which involves the use of computational tools and techniques for the large-scale analysis of metadata and textual content. To conduct this study, three perspectives are considered: 1. Historical, which traces the evolution of document types in relation to changes in the ways of doing science and communicating it; 2. Geographical, which identifies the spaces of knowledge production; and 3. Bibliographical, which characterizes the structural features of documents that allow them to be classified into research categories such as historical, analytical, theoretical, and experimental. Preliminary results make it possible to outline patterns of scientific knowledge production in Mexico from a geohistoriometric perspective, revealing how changes in the scientific context have been articulated with the forms of scientific writing. Likewise, the study demonstrates the potential of bibliomining as a tool for documentary analysis in historical, geographical, and bibliographical research.

Keywords: scientific communication, document types, methodological bibliomining.

INTRODUCCIÓN

La comunicación es un elemento importante para el entendimiento entre todas las sociedades humanas. Es definida como un proceso mediante el cual una persona establece un vínculo con otra u otras, permitiendo así la transmisión de información (Castillo, 2002).

Una de las formas de comunicación más representativas para el desarrollo de la humanidad es la comunicación escrita, la cual es entendida como una forma de transmisión de información que utiliza signos gráficos o símbolos (como letras, números, signos de puntuación y otros caracteres) para representar ideas, pensamientos, conocimientos, etc., de manera visual y permanente, de modo que queden registrados para su posterior consulta. Para Lazcano Xoxotla y Téllez Reyes (s.f.), es la interacción entre el emisor (escritor) del mensaje (texto) y el destinatario (lector), la cual debe tener características textuales y contextuales que permitan precisar el lenguaje y la situación en que se produce la comunicación, según el objetivo del texto y el público al que esté dirigido. Mientras que Cassany (2006) menciona que es “el proceso mediante el cual un emisor transmite un mensaje a un receptor por medio de un sistema de escritura, que queda registrado en un soporte físico o digital, permitiendo su consulta posterior” (p. 98).

Dentro del ámbito científico, la comunicación escrita resulta muy importante para compartir los hallazgos de las investigaciones derivadas de las diferentes áreas del conocimiento; y es precisamente la relación entre la comunicación escrita y el conocimiento científico de donde surge el término “comunicación científica”. A su vez, Garvey (2014) menciona que este término se puede definir del siguiente modo:

El conjunto de todas las actividades asociadas con la producción, difusión y uso de la información desde el momento en que al científico le surge la idea para su investigación hasta que la información sobre sus resultados de esta investigación es aceptada como un componente del conocimiento científico (p. 9).

Para la comunidad científica y para la sociedad en general, la comunicación de la ciencia es relevante en la medida en que permite validar el conocimiento, contribuir a la educación en diferentes niveles y favorecer los avances científicos, tecnológicos y de innovación para mejorar las condiciones de desarrollo de la población mundial, entre otros beneficios.

Dada su importancia social, en este trabajo se busca hacer un análisis de las diferentes formas en que se ha presentado la comunicación científica. Se delimita esta investigación con una cobertura geográfica nacional, la cual abarca solo el territorio mexicano; además de presentar una cobertura cronológica que incluye el periodo de 1792-1979. El primer año de este periodo corresponde al establecimiento de la primera institución de educación de corte científico a nivel nacional, donde se generaron documentos con características de un reporte de investigación (Valencia Martínez, 2018), y el último año pertenece a la década en que se estableció de manera formal la estructura IMRyD (Introducción, Métodos, Resultados y Discusión) para los trabajos de investigación (Camps, 2007). Aunque el formato IMRyD se estableció formalmente en la década de los setenta del siglo pasado, desde finales de la década de los veinte ya se encontraba una aproximación a esta estructura en artículos científicos, especialmente los que se realizaron en colaboración con instituciones o investigadores de Estados Unidos (Valencia Martínez, 2023).

El interés por realizar este análisis deriva de lo mencionado por Valencia-Martínez et al. (2022), quienes afirman que algunos de los documentos en los que se presentaba la comunicación científica durante el periodo especificado fueron cartas, manuales, descripciones, apuntes, discursos, libros, ensayos, reportes, observaciones, notas, noticias, informes, artículos, estudios, discusiones, actas, memorias, resúmenes de reunión y conferencias. Además, Vallejo Ríos (2023) determinó que las características de los documentos se adquirieron en función de diversos aspectos socio-culturales, según la época en que surgieron. Se considera que analizar las características de estos documentos en los contextos histórico y geográfico donde se produjeron revelará elementos interesantes sobre el desarrollo de la comunicación de la ciencia en México.

Se parte de la **hipótesis** de que los tipos de documentos empleados en la comunicación científica en México durante el periodo de 1792-1979 adquirieron su forma, su propósito y sus características en función de las condiciones históricas del país y de la región donde se generaron.

Para su validación se define como **objetivo** analizar la evolución de los tipos de documentos utilizados en la comunicación científica en México en el periodo 1792-1979, a través de la bibliominería metodológica, con la finalidad de determinar las diferentes formas de producir conocimientos en el país. Para realizar este análisis, se dividió el periodo de estudio en las siguientes cinco etapas:

1. La ciencia moderna en la etapa colonial, 1792-1832
2. El surgimiento de las sociedades científicas en México, 1833-1868
3. El surgimiento de las revistas científicas mexicanas, 1869-1888
4. La institucionalización de la ciencia en México, 1889-1928
5. El desarrollo de ciencia nacional con carácter académico, 1929-1979 (Vallejo Ríos, 2023).

Contexto histórico

El desarrollo de la ciencia en México ha sido un proceso complicado que ha atravesado transformaciones económicas, políticas, sociales y culturales. Desde la época colonial hasta el siglo XX, el país pasó de un conocimiento relacionado con la tradición religiosa a una práctica científica cada vez más rigurosa (Ramos, 2016). Algunos de los eventos que sentaron las bases de la ciencia mexicana contemporánea se presentan a continuación.

Durante la época colonial, la ciencia moderna se manifestó a través de la incorporación de nuevas corrientes de pensamiento europeo. La Real y Pontificia Universidad de México (antecedente de la UNAM) al inicio impartió entre sus programas de estudio enseñanza relacionada con la religión, pero con el transcurso del tiempo incorporó conocimientos científicos, especialmente en temas de medicina y mineralogía (Marsiske, 2006).

Además, la astronomía y la botánica también jugaron un papel importante en el desarrollo de la ciencia moderna en México durante la época colonial. En la botánica, las expediciones científicas, como la Real Expedición Botánica de Martín de Sessé y José Mariano Mociño en el siglo XVIII, representaron un esfuerzo por clasificar y sistematizar la riqueza natural del territorio novohispano (Morales Sarabia y Constantino Ortiz, s.f.); en cuanto a la astronomía, surgieron muchos estudios de carácter científico que buscaron analizar las prácticas astronómicas de las civilizaciones mesoamericanas y cómo se transformó esta disciplina tras la conquista del territorio (Moreno Corral, 2017).

Estos trabajos respondieron tanto al interés de la Corona española por la explotación de recursos como a la necesidad de ordenar el conocimiento. En este periodo también surgieron médicos y naturalistas novohispanos que incorporaron técnicas modernas de observación y experimentación, lo cual modificó la forma de ver la práctica científica: de ser una ciencia sustentada en la tradición a una que requiere evidencia empírica (López Ocón, 2016).

En síntesis, con la independencia del territorio mexicano a inicios del siglo XIX, se abrieron nuevas oportunidades para la construcción de una identidad científica nacional. El surgimiento de las primeras sociedades científicas mexicanas fue un aspecto clave para el desarrollo científico. La más representativa fue la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, la cual se convirtió en la primera sociedad científica de América y una de las más importantes en el siglo XIX (Azuela Bernal, 2003). Algunas otras, como la Sociedad Mexicana de Historia Natural y la Sociedad Científica "Antonio Alzate", hicieron aportaciones importantes en los campos disciplinares de la medicina, la botánica, la física y la química, pero con una concepción más especializada respecto a los conocimientos coloniales. Estas sociedades eran espacios de encuentro para intelectuales, ingenieros, naturalistas y médicos, quienes buscaron recopilar información del territorio, desarrollar cartografía y discutir avances científicos que permitieron apoyar el proyecto de construcción del Estado-nación independiente (Gortari, 1963).

Poco tiempo después, surgieron algunas revistas científicas mexicanas que se consolidaron como los vehículos principales de comunicación del conocimiento. Algunas publicaciones, como los Anales del Museo Nacional de México y la Revista Científica de México, abrieron espacios de cooperación académica y diálogo internacional (Saldaña, 2005). Estas revistas se plantearon dos propósitos: 1. divulgar hallazgos entre la comunidad científica; y 2. proyectar una imagen de modernidad hacia el exterior, como parte del fenómeno de globalización. La circulación de artículos en diversas disciplinas mostró cómo la ciencia mexicana comenzó a integrarse en la red global del conocimiento. Asunto que es destacado por Azuela Bernal y Guevara Fefer (1998), en sus investigaciones y reseñas.

No es hasta los siglos XIX y XX que se produjo la institucionalización de la ciencia en México. Durante el Porfiriato, el Estado impulsó la creación de escuelas técnicas e institutos especializados, como la Escuela Nacional de Ingenieros y el Observatorio Astronómico Nacional (Riguzzi, 1999). A partir de la creación de estas escuelas, la ciencia se orientó a fines prácticos y con beneficios económicos importantes, como la explotación minera, la construcción de infraestructura y el control del territorio. Otro ejemplo de institucionalización científica fue la fundación del Museo Nacional, el cual fue utilizado como un espacio clave para la investigación en historia natural y arqueología. Estas instituciones fortalecieron la idea de que la ciencia debía servir como motor de progreso del país (Ramos, 2016).

En ese mismo sentido, durante el siglo XX, tras la Revolución mexicana, se reafirmó la necesidad de una ciencia nacional con bases sólidas. Para ello, el Estado mexicano reconoció cada vez con mayor fuerza la importancia estratégica del conocimiento científico para el desarrollo. Ello repercutió directamente en la fundación de institutos especializados en geología, biología y antropología, los cuales

incidieron directamente en la consolidación de la producción científica institucional (González Pérez, 2018).

Posteriormente, con la llegada de la autonomía de la Universidad Nacional en 1929, se presentó un cambio importante que permitió a la institución diseñar libremente sus programas de estudio, proyectos de investigación y líneas académicas, sin depender estricta y directamente del gobierno (García Ramírez, 2019); es decir, se hizo una ciencia más de carácter académico que de mandato político para la explotación de recursos. Esto significó la posibilidad de aplicar una ciencia más rigurosa, lo que le permitió a la UNAM consolidar algunos institutos de investigación que garantizaron estándares internacionales en la producción del conocimiento. Este proceso abrió la puerta a la profesionalización de los científicos y a la formación de nuevas generaciones de investigadores (López Ocón, 2016).

Otro dato relevante en este período es que, a partir de la autonomía, fue posible la extensión de la cooperación internacional y el fortalecimiento de la identidad académica nacional (Marsiske, 2006). De este modo, la ciencia en México se integró con mayor solidez a la comunidad global.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en este trabajo aplica la bibliominería como estrategia principal para recolectar, visualizar e interpretar los datos presentados. De acuerdo con Puente Marcelo (2010), citado en Martínez Acevedo y Polo Bautista (2022), la bibliominería es una estrategia metodológica que combina técnicas de estadística, bibliometría y minería de datos para la elaboración de informes que permitan extraer nueva información o conocimiento sobre los patrones de los sistemas bibliotecarios. Dicha metodología se desarrolló en tres pasos, los cuales se encuentran expresados en la Figura 1.



Figura 1. Esquema metodológico a partir de la bibliominería

Se utilizó como fuente principal de información la base de datos del Atlas Histórico de la Ciencia Mexicana (AHCM: <http://bibliometria.bfm.cinvestav.mx>), la cual contiene información bibliográfica de más de 32 000 registros de publicaciones científicas relacionadas con México; es decir, publicaciones hechas en México, sobre México o por autores mexicanos. Esta base de datos es una fuente especializada y de alto valor para estudios histórico-bibliométricos sobre la ciencia en México, lo cual se puede constatar en artículos como Flores Vargas et al. (2018), Campos Pérez et al. (2025), Valencia Martínez et al. (2022); entre otros, todos ellos relacionados con la historia de la ciencia en el territorio nacional.

Sin embargo, es importante señalar que los datos obtenidos en esta investigación deben interpretarse dentro de los límites del mismo AHCM (ya sea por el lugar de publicación de los artículos o por las temáticas abordadas) y no como una representación exhaustiva de la producción científica mexicana en su totalidad.

El AHCM cuenta con cuatro módulos de búsqueda: Documento, Fuente, Institución y Autor. Para el caso de esta investigación, se utilizó el módulo de “Documento”, a partir del cual se recuperaron todos los títulos de los trabajos indexados en esta base de datos, los cuales fueron analizados para localizar los que incluyeran nombres de tipos de documentos dentro de su contenido.

Esta fase nos condujo a un proceso de depuración, ya que, de los más de 32 000 registros, únicamente se encontraron 18 542 que contenían dentro de su título el nombre de algún tipo de documento.

Posteriormente, se realizó un proceso de normalización que permitió unificar la tipología documental similar, con la finalidad de evitar duplicidades. Un ejemplo de ello fueron los diferentes tipos de cartas halladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para aplicar la bibliominería como estrategia metodológica, se utilizó el software de lenguaje de programación RStudio. El mismo resulta pertinente y de gran utilidad ya que permite el proceso de gestión, de visualización y de análisis de datos de manera sencilla y eficiente. Asimismo, como complemento esencial se utilizaron diversas bibliotecas para cada uno de los procesos, las cuales se mencionan a continuación:

1. Importar datos

- **Readr:** utilizado para importar los documentos del AHCM a formato CSV dentro de RStudio.
- **Tidyr:** empleado para organizar los campos creados en la base de datos; es decir, para migrar los tipos de documentos de los títulos a un nuevo campo llamado “tipo de documento”.

2. Depurar y normalizar datos

- **Text Mining:** se utilizó para analizar las palabras de los títulos de los trabajos e identificar aquellos que tenían el nombre de algún tipo de documento.
- **Dplyr:** se utilizó como complemento de la biblioteca anterior, para filtrar los registros y excluir los que no tuvieran información sobre la tipología documental.
- **Stringr:** aplicado para identificar errores ortográficos o inconsistencias en los registros.
- **Forcats:** utilizado para agrupar, contabilizar y organizar los tipos de documentos.

3. Análisis de los datos

- **Tibble:** a partir de esta biblioteca se dio forma a la matriz de análisis, con el formato adecuado en RStudio para graficar los datos.
- **Igraph:** empleado en la generación de las tres gráficas (mapa de comunidad / tipos de documento por periodo; mapa bibliométrico con coordenadas geográficas / influencia geográfica; y red bibliométrica de gráficos / tipo de investigación).

No se aplicó la biblioteca de Bibliometrix, ya que el análisis realizado fue explicativo identificando los mismos patrones de las gráficas creadas, y no descriptivo, como el que se obtiene a través de esta biblioteca.

Análisis y tratamiento de los resultados

Esta etapa consistió en la aplicación de diversos métodos (utilizando las bibliotecas anteriormente mencionadas) para analizar e interpretar los datos. Se conformó una matriz de análisis que consta de seis campos:

1. **Clave:** es el código alfanumérico que permite identificar cada registro.
2. **Tipo de documento:** identifica a cada documento de acuerdo con sus características.
3. **Propósito:** se refiere al objetivo o intención con la que el documento fue escrito.
4. **Sector:** hace referencia al público al que está dirigido el documento (sector social).
5. **Origen de la publicación:** identifica el lugar geográfico del que proviene el documento.
6. **Periodo:** referente a la etapa en que se produjo el documento según su año de publicación.

A partir de la matriz de análisis se realizó la organización del corpus, en la cual se consideró el agrupamiento de los registros, el conteo y distribución por frecuencias y el cruce de variables.

Luego, se realizó el análisis, donde se identificaron:

1. Distribución de los tipos de documentos
2. Evolución temporal
3. Dispersión según su origen geográfico
4. Correspondencia con el tipo de investigación

Luego, se reconocieron los patrones a partir de las gráficas creadas y se estableció una relación entre esos patrones con lo mencionado en la literatura; es decir, se realizó un vínculo entre el contexto histórico, geográfico y documental en el que se produjeron los diferentes tipos de documentos en el periodo analizado.

Finalmente, como nota adicional a esta metodología, es importante mencionar que existen limitaciones en este proceso. Como se mencionó, al solo utilizar una base de datos no es posible generalizar los resultados a todo el conocimiento publicado en el periodo de 1792 a 1979; sin embargo, al ser el AHCM una de las bases de datos más completas e incluyentes como parte del conocimiento científico, la aproximación de estos resultados es muy cercana a los patrones generales de la comunicación científica total dentro del periodo estudiado aportando conclusiones de gran valor.

RESULTADOS

De acuerdo con el análisis hecho, los resultados se dividen en tres indicadores:

1. **Históricos:** los cuales determinan la evolución de los tipos de documentos en función del contexto;
2. **Geográficos:** se enfocan en mostrar la influencia de los lugares geográficos en los cambios presentados en los documentos;
3. **Bibliográficos:** determinan el tipo de investigación aplicada, a partir de la cual se les asigna una tipología a los documentos, y que es dispuesto por el sector y el propósito definidos en la matriz de análisis (este indicador es muy largo, por lo que este trabajo solo se enfocará en el tipo de investigación).

Estos indicadores se explican a continuación.

Históricos

Para Medina Morales (2015) los documentos son productos culturales que responden a las necesidades sociales, políticas y académicas de cada época. Tomando como base esa premisa, se analizó la gráfica de la Figura 2.

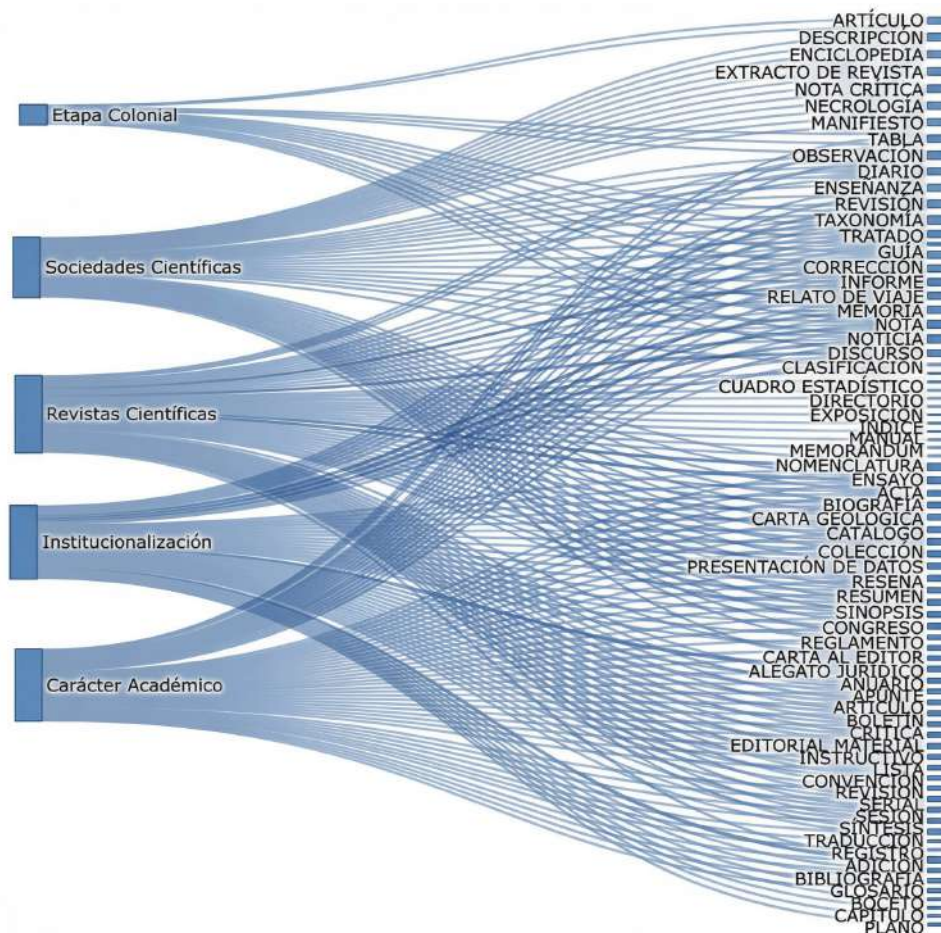


Figura 2. Tipos de documentos identificados en cada periodo

Durante la época colonial, cuando inicia el auge de la ciencia moderna en México, los principales tipos de documentos fueron cartas, correcciones, descripciones, discursos, estudios, informes, libros, memorias, notas, noticias, observaciones, relatos de viaje, reportes y tablas, muchos de ellos con fines prácticos (medicina, astronomía, botánica y minería). Estos textos buscaron validación en Europa, ya que en la Nueva España aún no existía una comunidad científica autónoma (López Ocón, 2016). Además, estos escritos estuvieron influenciados por la tradición religiosa, lo cual se observa en obras como las de Carlos de Sigüenza y Góngora, que combinaron la observación astronómica con argumentación teológica (Moreno de los Arcos, 1996).

Culminada la independencia de México y con el florecimiento de las primeras sociedades científicas, surgen instituciones que generaron una mayor tipología documental (Retana Guiascón, 2009), como avisos, biografías, boletines, catálogos, circulares, clasificaciones, colecciones, conferencias, congresos, diarios, enciclopedias, encuestas, ensayos, instructivos, manifiestos, mapas, necrologías, procedimientos, reglamentos, resúmenes, sinópsis, sumarios y taxonomías. Estos documentos se distinguieron por ser colectivos y sistemáticos; su propósito fue organizar y difundir conocimiento útil para el nuevo Estado mexicano (Azuela Bernal, 2003).

Con la creación de las primeras revistas científicas nacionales, se encuentran los primeros artículos especializados. Aunque ya había artículos en periodos anteriores, en este periodo adquirieron un nivel de especialidad más amplio. La revista permitió una difusión más amplia del conocimiento y la construcción de una comunidad de lectores científicos, donde los artículos comenzaron a estructurarse en torno a problemas específicos, con observaciones, discusiones y conclusiones, aunque aún sin la metodología rigurosa del siglo XX (Ayala Aceves, 1993). Además, surgen otros documentos como: actas, adiciones, anuarios, apuntes, códigos, cuadros estadísticos, enseñanzas, guías, litografías, ordenanzas, presentación de datos, proyectos, reseñas y tratados; la mayoría de estos con intenciones legales o políticas.

Ahora bien, cuando se consolidaron las instituciones en México, se fortaleció la producción de documentos (Vessuri, 1994), como atlas, bosquejos, capítulos, convenciones, críticas, directorios, editoriales, elogios, exposiciones, índices, instructivos, leyes, listas, memorandos, nomenclaturas, patentes, planos, proyectos, regímenes y series. Los documentos de esta etapa se caracterizaron por una mayor especialización y sistematización metodológica, respondiendo a la necesidad de formar profesionales e investigadores en un marco institucional (Retana Guiascón, 2009).

Finalmente, con la autonomía de la UNAM, se marcó el inicio de una ciencia con carácter académico riguroso, impulsando principalmente artículos de revista con arbitraje, tesis de posgrado y actas de congresos (García Ramírez, 2019). En este periodo, los artículos adoptaron el modelo internacional IMRyD, y la normalización de citas y referencias bibliográficas permitió el ingreso de revistas mexicanas

a índices internacionales (Luna Morales, 2012). Además, las universidades y centros de investigación se convirtieron en los principales productores de documentos científicos en el país (Estrada Rodríguez y Mateos Espejel, 2024). En esta etapa se presentó una disminución de la tipología documental, ya que la estructura IMRyD favoreció la generación casi exclusiva de artículos científicos, algunos capítulos de libros y documentos procedentes de eventos académicos (Valencia Martínez et al., 2022).

Geográficos

México tuvo influencia científica principalmente de países europeos, y sus prácticas de generación de documentos presentan los mismos patrones que la ciencia de este continente. De acuerdo con la Figura 2, los principales países con los que se encuentra esa relación son España, Francia, Inglaterra, Alemania, Italia y, aunque no es un país europeo, Estados Unidos.

En el caso de España, durante la etapa colonial, los documentos producidos en México siguieron el modelo español de cartas, informes, memorias y reportes. Este fenómeno fue originado principalmente por el dominio territorial ejercido desde la Conquista. La tradición religiosa de la Universidad de Salamanca se replicó en la Real y Pontificia Universidad de México, generando textos con fuerte carga retórica (Moreno de los Arcos, 1996). Además, España fue el canal inicial por el cual circularon obras científicas europeas en la Nueva España, lo que influyó en que los documentos novohispanos buscaran validación en la metrópoli (López Ocón, 2016).

Tras la independencia de México, Francia se convirtió en el referente científico de las élites mexicanas. El surgimiento de las sociedades científicas se vio influenciado por las prácticas de ese país, donde la mayoría de las sociedades adoptaron sus modelos de organización y publicación, generando memorias y boletines (Azuela Bernal, 2003). Otro aspecto de la influencia francesa se reflejó en la medicina mexicana, la cual se nutrió de la Universidad de París, donde muchos médicos mexicanos estudiaron, impulsando el surgimiento de la Gaceta Médica de México, inspirada además en las revistas médicas francesas (Castañeda Martínez, 2018).

En el caso de Inglaterra, se identifica una influencia derivada del modelo de revista científica consolidado por la *Philosophical Transactions* de la Royal Society. Esta tradición influyó en la aparición de publicaciones mexicanas con artículos breves, reseñas y reportes de exploración (Retana Guiascón, 2009). Esa influencia se reflejó también en documentos sobre minería, ingeniería y geología, áreas de gran interés para México en el siglo XIX (Retana Guiascón, 2009).

Alemania representó el modelo de ciencia universitaria a partir de escuelas como la *École des Chartes* y la Academia de Minas de Freiberg, con fuerte énfasis en el trabajo de laboratorio y la formación académica. El impacto que este fenómeno tuvo en México fue la incorporación de tesis de grado, reportes de laboratorio y artículos con metodología rigurosa (Vessuri, 1994). Además, a partir de las prácticas

científicas de Alemania, se fortaleció la idea de que el documento científico debía ser metódico, sistemático y replicable (Retana Guiascón, 2009).

La influencia italiana se hizo presente principalmente en áreas como la medicina y la botánica. Algunos médicos mexicanos formados en Italia trajeron consigo el modelo de manuales médicos y notas clínicas, lo que diversificó la producción documental en el país (Retana Guiascón, 2009). Italia es el país con menor influencia en la producción de documentos mexicanos, pero es muy importante por los descubrimientos científicos en el área médica.

En el caso de Estados Unidos, su relación con la ciencia producida en México no se da hasta el siglo XX, principalmente por la adopción del artículo científico estandarizado (IMRyD) y el arbitraje por pares (Luna Morales, 2012).

También introdujo la cultura de los congresos científicos y las actas de reuniones, así como la búsqueda de indexación en bases internacionales (Estrada Rodríguez y Mateos Espejel, 2024).

Las prácticas científicas no llegaron a México de manera aislada, sino en forma de red, considerando los eventos históricos de diferentes épocas. Francia y Alemania competían como centros científicos en el siglo XIX, mientras Inglaterra había definido el modelo de la revista desde el siglo XVII. Posteriormente, Estados Unidos integró las tradiciones europeas y las exportó al resto de América Latina (Vessuri, 1994). De esta forma, México presenta una red de influencias de diferentes países, lo que explica la diversidad y evolución de sus documentos científicos.



Figura 3. Influencia geográfica del uso de los tipos de documento

Bibliográficos

Como parte del indicador bibliográfico se identifican cuatro tipos de investigación: histórica, analítica, teórica y experimental, los cuales favorecieron la creación de nuevos documentos con distintas características en función del sector al que pertenecen y su intencionalidad o propósito (Valencia Martínez et al., 2022), tal como se muestra en la Figura 4.

La investigación histórica se caracteriza por tener documentos narrativos y descriptivos. Es durante la etapa colonial y parte del siglo XIX, cuando surgen las sociedades científicas y las revistas, que predominó la investigación histórica, centrada en registrar hechos y observaciones. Algunos de esos documentos generados con estas características son crónicas, informes, memorias y tratados, los cuales narraban fenómenos naturales, descubrimientos geográficos o avances científicos sin una metodología formal; estos eran vistos más como un registro histórico que como una validación científica (López Ocón, 2016; Azuela Bernal, 2003).

En cuanto a la investigación teórica, se identifican documentos de reflexión y sistematización. La aparición de los mismos se da con la consolidación de sociedades científicas y universidades en el siglo XIX, donde surgieron documentos de carácter teórico-conceptual. Algunos ejemplos de estos documentos son reseñas, bibliografías y discursos, los cuales buscaron sistematizar el conocimiento, plantear hipótesis o discutir marcos conceptuales (Retana Guiascón, 2009), además de comenzar a ser vistos como espacios de debate académico y reflexión teórica.

La investigación analítica incluyó documentos técnicos y especializados, y es a finales del siglo XIX e inicios del XX, con la institucionalización de la ciencia en México, cuando predominó este tipo de investigación. Ejemplos como informes, reportes, tesis, presentación de datos, cuadros, mapas y análisis buscaron interpretar y organizar información para su mejor entendimiento y se convirtieron en instrumentos de validación disciplinar (Retana Guiascón, 2009; Vessuri, 1994).

Finalmente, la investigación experimental, que se carac-

documentos de reflexión y sistematización, como discursos y reseñas académicas, que introdujeron el debate intelectual en las comunidades científicas (Azuela Bernal y Serrano Juárez, 2020). Más tarde, la investigación analítica se plasmó en informes técnicos, reportes de laboratorio y tesis, caracterizados por un énfasis en la organización y validación de la información (Retana Guiascón, 2009). Finalmente, la investigación experimental, consolidada a partir de la autonomía de la UNAM, promovió la producción de artículos estandarizados, actas de congresos y tesis de posgrado, documentos que sentaron las bases de una ciencia mexicana con proyección internacional (Estrada Rodríguez y Mateos Espejel, 2024; Luna Morales, 2012).

En términos generales, el estudio de los tres indicadores (históricos, geográficos y bibliográficos) revela que la producción documental mexicana no fue un proceso lineal, sino dinámico, influenciado por una red de modelos internacionales. Esta evolución no solo refleja el desarrollo interno

de la ciencia nacional, sino también la manera en que México fue integrándose a la comunidad científica global. Así, la evolución de los documentos coloniales hacia el artículo científico estandarizado evidencia la consolidación de una cultura académica sustentada en la especialización, la replicabilidad y la comunicación internacional (Valencia Martínez et al., 2022).

Finalmente, se concluye que la transformación de los documentos científicos en México deriva de la propia institucionalización de la ciencia en el país. Cada tipología documental no solo responde a un formato técnico, sino también a un contexto cultural y a una intencionalidad investigativa que revela cómo el conocimiento fue organizado, legitimado y difundido. De esta manera, la producción documental mexicana es tanto un producto cultural como un reflejo del proceso histórico de construcción de la ciencia moderna en el país (Medina Morales, 2015; Pérez Tamayo, s.f.).

REFERENCIAS

- Ayala Aceves, A.E. (1993). *Las revistas científicas mexicanas en el siglo XIX* (Mexican Scientific Journals in the 19th Century). [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000197101>
- Azuela Bernal, L.F. (2003). La Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, la organización de la ciencia, la institucionalización de la geografía y la construcción del país en el siglo XIX (The Mexican Society of Geography and Statistics, the Organization of Science, the Institutionalization of Geography, and the Construction of the Nation in the 19th Century). *Investigaciones Geográficas* (52), 153-166. <https://doi.org/10.14350/ig.30346>
- Azuela Bernal, L.F. & Guevara Fefer, R. (1998). La ciencia en México en el siglo XIX: una aproximación historiográfica (Science in Mexico in the 19th Century: A Historiographical Approach). *Revista Archivos*, 50(2), 77-105. <https://datosabiertos.unam.mx/FFyL:RU-UNAM:57714>
- Azuela Bernal, L.F. & Serrano Juárez, J.D. (2020). El proceso de integración de México en las redes científicas internacionales y el afianzamiento de sus normas y valores en la Sociedad Científica “Antonio Alzate” (1884-1912) [The Process of Mexico’s Integration into International Scientific Networks and the Consolidation of Its Norms and Values in the Scientific Society “Antonio Alzate” (1884-1912)]. *Estudios de Historia Moderna y Contemporánea de México*, (61), 133-173. <https://doi.org/10.22201/iih.24485004e.2021.61.75481>
- Campos Pérez, L., Flores Vargas, X., Collazo Reyes, F. & Pérez Angón, M.A. (2025). Epistemological transformations on mineralogy in Mexico’s transition as an independent country: a geohistoriometric perspective. *Scientometrics*, 130(7), 4011-4026. <https://doi.org/10.1007/s11192-025-05371-6>
- Camps, D. (2007). El artículo científico (The Scientific Article). *Archivos de Medicina*, 3(5). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6587847>
- Cassany, D. (2006). *Tras las líneas: sobre la lectura contemporánea* (Between the Lines: On Contemporary Reading). Anagrama.
- Castañeda Martínez, A. (2018). *Palabras estructurantes del discurso científico documental del campo emergente de la medicina moderna en México, 1836-1888* (Structuring Words of the Documentary Scientific Discourse in the Emerging Field of Modern Medicine in Mexico, 1836-1888). [Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Biblioteconomía y Archivonomía].
- Castillo, L. (2002). Introducción a la información científica y técnica: la comunicación científica, resúmenes de epistemología (Introduction to Scientific and Technical Information: Scientific Communication, Summaries of Epistemology). Centro de Ensino Superior Tecnológico Superior do Brasil. <https://www.doccity.com/pt/docs/introduccion-a-la-informacion-cientifica-y-tecnica-la-comunicacion-cientifica/11857226/>
- Estrada Rodríguez, J.L. & Mateos Espejel, M.L. (2024). Producción científica de los investigadores en México: alcances y limitaciones para la publicación en revistas internacionales (Scientific Production of Researchers in Mexico: Scope and Limitations for Publication in International Journals). *Revista de Ciencias Sociales*, 30(4), 123-143. <https://produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/rcs/article/view/42982>
- Flores Vargas, X., Vitar Sandoval, S.H., Gutiérrez Maya, J.I., Collazo Rodríguez, P. & Collazo Reyes, F. (2018). Determinants of the emergence of modern scientific knowledge in mineralogy (Mexico, 1975-1849): a geohistoriometric approach. *Scientometrics*, 115(3), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2646-5>
- García Ramírez, S. (2019). *La autonomía universitaria, ahora y aquí* (University Autonomy, Now and Here). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Jurídicas. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/12/5520/20.pdf>
- Garvey, W.D. (2014). *Communication: the essence of science*. Pergamon Press.

- González Pérez, T. (2018). La educación en el siglo XX: miradas cruzadas (Education in the 20th Century: Crossed Perspectives). *Historia del Caribe*, XIII(33), 15-20. <https://doi.org/10.15648/hc.33.2018.2>
- Gortari, E. (1963). La ciencia en la historia de México (Science in the History of Mexico). Fondo de Cultura Económica.
- Lazcano Xoxotla, L. & Téllez Reyes, M.S. (s.f.). *Comunicación oral y escrita* (Oral and Written Communication). [Simposio. Archivo PDF]. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Cómputo. https://www.escom.ipn.mx/docs/oferta/matDidacticoISC2009/COEscr/Diapositivas_COE.pdf
- López Ocón, L. (2016). Las influencias institucionistas en el sistema científico español: entre el pasado y el futuro (Institutionalist Influences in the Spanish Scientific System: Between the Past and the Future). *Revista de Cultura y Ciencias Sociales*, (90), 56-65. <https://www.jstor.org/stable/26561963>
- Luna Morales, M.E. (2012). La colaboración científica y la internacionalización de la ciencia mexicana de 1980 a 2004 (Scientific Collaboration and the Internationalization of Mexican Science from 1980 to 2004). *Investigación Bibliotecológica*, 26(57), 103-129. <https://doi.org/10.22201/iibi.0187358xp.2012.57.33841>
- Marsiske, R. (2006). La universidad de México: historia y desarrollo (The University of Mexico: History and Development). *Revista Historia de la Educación Latinoamericana*, 8, 11-34. <https://www.redalyc.org/pdf/869/86900802.pdf>
- Martínez Acevedo, K.V. & Polo Bautista, L.R. (2021). *Aplicación de la bibliominería metodológica en la elaboración de una ontología como sistema de representación del conocimiento de la enfermedad del tifo en México, 1904-1977* (Application of Methodological Bibliomining in the Development of an Ontology as a Knowledge Representation System of Typhus Disease in Mexico, 1904-1977). [Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Biblioteconomía y Archivonomía]. <http://eprints.rclis.org/43272/1/Aplicaci%C3%B3n%20de%20la%20bibliominer%C3%ADa%20metodol%C3%B3gica%20en%20la%20elaboraci%C3%B3n%20de%20una%20ontolog%C3%ADa%20como%20sistema%20de%20representaci%C3%B3n%20del%20conocimiento%20de%20la%20enfermedad%20del%20tifo%20en%20M%C3%A9xico%20C%201904-1977.pdf>
- Medina Morales, A. (2015). El archivo: de "almacén" a elemento de dinamización cultural (The Archive: From "Storage" to an Element of Cultural Dynamization). *Boletín ANABAD*, LXV(3), 33-42. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5320519.pdf>
- Morales Sarabia, A. & Constantino Ortiz, M.E. (s.f.). *Expediciones científicas en la Nueva España* (Scientific Expeditions in New Spain). Archivo General de la Nación.
- Moreno Corral, M.A. (2017). Astronomía en México del siglo XVI (Astronomy in 16th-Century Mexico). *Saberes: Revista de Historia de las Ciencias y las Humanidades*, 1(1), 100-118. <https://www.saberesrevista.org/saberes/article/view/25>
- Moreno de los Arcos, R. (1996). *Carlos de Sigüenza y Góngora: ciencia y erudición en el siglo XVII* (Carlos de Sigüenza y Góngora: Science and Scholarship in the 17th Century). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pérez Tamayo, R. (s.f.). *El Estado y la ciencia en México: pasado, presente y futuro* (The State and Science in Mexico: Past, Present, and Future). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Jurídicas. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2873/17.pdf>
- Ramos, C.A. (2016). Los paradigmas de la investigación científica (The Paradigms of Scientific Research). *Revista Avances en psicología*, 23(1), 9-17. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=0qW-VHWAAAAAJ&citation_for_view=0qWVHWAAAAAJ:mB3voiENLucC
- Retana Guascón, O.G. (2009). La institucionalización de la investigación científica en México: breve cronología (The Institutionalization of Scientific Research in Mexico: A Brief Chronology). *Ciencias*, (94), 46-51. <https://www.redalyc.org/pdf/644/64412193010.pdf>
- Riguzzi, P. (1999). Un modelo histórico de cambio institucional: la organización de la economía mexicana, 1857-1911 (A Historical Model of Institutional Change: The Organization of the Mexican Economy, 1857-1911). *Investigación económica*, 59(299), 205-235. <https://repositorio.colmex.mx/concern/articles/dv13zt683?locale=es>
- Saldaña, J.J. (2005). *La casa de Salomón en México. Estudios sobre la institucionalización de la docencia y la investigación científica* (Solomon's House in Mexico: Studies on the Institutionalization of Scientific Teaching and Research). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras.
- Valencia Martínez, A. (2018). *Modelo ontológico de información para estudiar las primeras formas de comunicación científica moderna en el tema de mineralogía en México, 1795-1849* (Ontological Information Model to Study the First Forms of Modern Scientific Communication on the Subject of Mineralogy in Mexico, 1795-1849). [Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Biblioteconomía y Archivonomía].
- Valencia Martínez, A. (2023). *Actores histórico-científicos y sistemas de organización como agentes en la construcción de saberes en la minería de México, (1792-2019): hacia una práctica sustentable* (Historical-Scientific Actors and Organizational Systems as Agents in the Construction of Knowledge in Mexican Mining (1792-2019): Toward a Sustainable Practice). [Tesis de Doctorado, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados]. <https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/4777>
- Valencia Martínez, A., Robles Belmont, E. y Pérez Angón, M.A. (2022). Identificación de las funciones de comunicación y los estilos argumentativos en la literatura científica de la mineralogía mexicana (1792-2019): aproximación geohistoriométrica En G. Vélez-Cuartas, T. Moreira de Oliveira, F. Collazo, A. Uribe Tirado, L. Rovelli & J. Naidorf (Comps.). *Métricas de la producción académica: evaluación de la investigación desde América Latina y el Caribe* [Identification of communication functions and argumentative styles in the scientific literature of Mexican mineralogy (1792-2019): a geohistoriometric approach. In G. Vélez-Cuartas, T. Moreira de Oliveira, F. Collazo, A. Uribe Tirado, L. Rovelli & J. Naidorf (Eds.). *Metrics of academic production: evaluation of research from Latin America and the Caribbean*] (pp. 205-232). CLACSO; Latmétricas.
- Vallejo Ríos, E. (2023). *Estudio bibliométrico de los patrones de comunicación de la literatura científica publicada en México de 1800-1950* (Bibliometric Study of Communication Patterns in Scientific Literature Published in Mexico, 1800-1950). [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México. https://ru.atheneadigital.filos.unam.mx/jspui/handle/FFYL_UNAM/8493
- Vessuri, H. (1994). La ciencia académica en América Latina en el siglo XX (Academic Science in Latin America in the 20th Century). *Revista de Estudios Sociales de la Ciencia*, 1(2), 40-77. <https://doi.org/10.48160/18517072re2.820>

Actitudes hacia los elementos STEM de las estudiantes de Mecatrónica UT Altamira

María Teresa González Barrón; Edgar Uxmal Maya Palacios

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo analizar los elementos de la Teoría Social Cognitiva de Carrera (SCCT) en alumnas de la carrera de Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Altamira, con el fin de identificar su relación con la permanencia en áreas STEM, caracterizadas por una alta brecha de género. Se llevó a cabo una investigación descriptiva, cuantitativa y transversal, con una muestra por conveniencia de 83 estudiantes, cuyas edades oscilaron entre 17 y 24 años. Se utilizó el cuestionario SIC-STEM, compuesto por 45 reactivos distribuidos en tres áreas STEM, verificando la confiabilidad mediante alfa de Cronbach. El análisis se realizó con Excel 365 y Minitab 20. Los resultados evidencian una confiabilidad excelente ($\alpha = 0.9164$). El puntaje más alto correspondió a expectativas de resultados (11.84), seguido del interés. En cuanto a áreas, Ingeniería y Tecnología alcanzó la valoración más elevada, particularmente en metas de elección (13.38). Asimismo, se detectó que 26.5 % de las estudiantes se ubican en el primer cuartil, lo que implica riesgo de deserción. Las limitaciones principales estuvieron asociadas a la carga académica de las alumnas y al contacto con el turno vespertino. Los hallazgos sugieren que fortalecer la autoeficacia y las expectativas de resultados favorece el interés y la persistencia, recomendándose intervenciones focalizadas en las estudiantes con mayor riesgo.

Palabras clave: autoeficacia, STEM, equidad de género, brecha de género, SCCT.

Cómo citar: González, M., Maya, E. (2026). Actitudes hacia los elementos STEM de las estudiantes de Mecatrónica UT Altamira. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto10>

Attitudes towards STEM elements of Mechatronics students at UT Altamira

ABSTRACT

This study aimed to analyze the elements of the Social Cognitive Career Theory (SCCT) in female students of the Mechatronics program at the Technological University of Altamira, in order to identify their relationship with persistence in STEM areas characterized by a high gender gap. A descriptive, quantitative, and cross-sectional research design was carried out with a convenience sample of 83 students, whose ages ranged from 17 to 24 years. The SIC-STEM questionnaire was used, composed of 45 items distributed across three STEM areas, verifying reliability through Cronbach's alpha. The analysis was performed using Excel 365 and Minitab 20. The results show excellent reliability ($\alpha = 0.9164$). The highest score corresponded to outcome expectations (11.84), followed by interest. Regarding areas, Engineering and Technology reached the highest rating, particularly in choice goals (13.38). Likewise, it was detected that 26.5% of the students are located in the first quartile, which implies risk of dropout. The main limitations were associated with the students' academic workload and contact with the afternoon shift. The findings suggest that strengthening self-efficacy and outcome expectations promotes interest and persistence, recommending targeted interventions for students at higher risk.

Keywords: self-efficacy; STEM; gender equity; gender gap; SCCT.

INTRODUCCIÓN

Las disciplinas STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, por sus siglas en inglés) traen consigo un buen número de ventajas. Primero, ayudan a resolver problemas actuales de manera creativa. Esto quiere decir que, mientras más personas estudien dichas carreras, mayor es la probabilidad de encontrar soluciones originales a las problemáticas que aquejan a la sociedad.

Otra de las ventajas es su contribución al incremento del desarrollo económico del país, ya que se ha encontrado que la tecnología liderada por científicos, desarrolladores e investigadores aumenta su productividad (Szenkman y Lotitto, 2020). Además, los trabajos mejor pagados en la actualidad son aquellos que involucran las profesiones STEM (Bello y Estébanez, 2022).

A pesar de todas las ventajas mencionadas, únicamente el 30 % de las mujeres eligen estudiar profesiones STEM, y todavía más preocupante es el dato de que, de ese 30 %, solo el 8 % escoge alguna ingeniería (García Dobarganes y Masse Torres-Tirado, 2022). Esta diferencia educativa y laboral entre hombres y mujeres se conoce como brecha de género (Saravia y Cifuentes, 2024).

El Instituto Mexicano para la Competitividad (2023) determinó que, para cerrar las disparidades de género en todos los estados del país, se tendría que aumentar el número de mujeres por lo menos un 71 % en las carreras STEM. Eso quiere decir que, de continuar con la misma tendencia, México tardaría alrededor de 37 años en cerrar la brecha de género.

En la Universidad Tecnológica (UT) de Altamira también se observa una disparidad de género muy grande, ya que en un estudio realizado se encontró que, en promedio, el 86.2 % de los estudiantes en la carrera de Mecatrónica eran hombres (González Barrón et al., 2024). De hecho, las ingenierías en donde se encuentran matriculadas menos mujeres son la de Mecatrónica y la de Mantenimiento Industrial.

Entonces, para poder cerrar la brecha de género, es clave no solo motivar a las estudiantes a elegir carreras STEM, sino también ayudar a mantener ese interés a lo largo de su desarrollo profesional, de tal manera que no deserten. Para lograrlo, es importante que los investigadores comprendan con profundidad los factores que influyen en el interés de los estudiantes por las carreras STEM, para así generar estrategias o incluso políticas educativas que incentiven la permanencia de las mujeres en esas profesiones.

Deserción escolar

La elección de carrera universitaria es una decisión de gran relevancia que posibilita una vida satisfactoria y llena de éxito. Las decisiones inadecuadas durante esta etapa, sobre todo en cuanto al abandono escolar o en la elección de carrera, podrían afectar el desarrollo del sujeto en la sociedad (Franco Delgado y Polanco Valenzuela, 2023). Además, está comprobado que la educación de calidad promueve empleos mejor pagados y la movilidad económica.

Por esta razón la deserción escolar en los estudios de educación superior es un problema complejo, importante y

que ocurre en todos los países del mundo (Lázaro Álvarez et al., 2017). En las carreras STEM, es una problemática común debido a su dificultad. Si el estudiante no posee los recursos psicológicos necesarios para afrontar las demandas propias de cada carrera, existe el riesgo de que opte por rendirse y abandone sus estudios. Así, su futuro laboral, desarrollo personal, movilidad económica y su calidad de vida se verían afectados, ya que los egresados de nivel superior son los más favorecidos en relación con sus posibilidades de inserción al mercado laboral.

Se refiere que, alrededor del 47 % de los estudiantes no finalizan los estudios, y en los sectores socioeconómicos más desfavorecidos aumenta el porcentaje hasta un 79.3 % (Medrano y Flores Kanter, 2017). Otro dato brindado por la Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe informó que únicamente una de cada diez personas entre 25 y 29 años poseía una carrera universitaria (Lázaro Álvarez et al., 2017).

En la UT de Altamira, en las generaciones que ingresaron del 2013 al 2017 de la carrera de Mecatrónica, se observan porcentajes bajos de eficiencia terminal, siendo del 57.5 % en promedio; eso quiere decir que la deserción y reprobación es aproximadamente del 42.5 % (Martínez Gámez et al., 2017). Cabe mencionar que esta carrera es especialmente demandante debido a que a los estudiantes, para poder titularse y egresar tanto de nivel Técnico Superior Universitario como de ingeniería, se les pide como requisito adquirir un certificado de idiomas con cierto nivel (B1 para Técnico, B2 para ingeniería).

Las causas que se han encontrado del abandono escolar en el nivel superior en ingeniería son: el rendimiento académico (especialmente por la dificultad en el aprendizaje de las matemáticas y física), la falta de motivación y de integración académica y social (Lázaro Álvarez et al., 2017).

Ahora bien, la deserción de estudiantes mujeres en las carreras STEM es un problema todavía más serio debido al bajo número de ellas matriculadas. De hecho, la tasa de deserción de las mujeres en la educación STEM es particularmente alta. Las mujeres abandonan las disciplinas STEM de forma desproporcionada durante sus estudios y en su trayectoria profesional (Quispe Contreras, 2023). Por lo que la brecha de género en la ciencia se agranda en las transiciones que van del nivel bachillerato al nivel superior.

Esta situación repercute en el desarrollo profesional y se evidencia en la escasez de mujeres en cargos de mayor nivel jerárquico, pues, entre otras razones, hay menor cantidad de candidaturas a esos puestos de trabajo (Quispe Contreras, 2023).

En la UT de Altamira, se confirma lo que enuncian los autores. En cuanto a la deserción de las estudiantes mujeres de la carrera de Mecatrónica, los datos obtenidos señalan que en la generación 2018-2022 fue del 38.4 %, en la del 2019-2023 fue del 20.5 %, del 2020-2024 del 42.8 % y en la última del 2021-2025 del 50 %. Por lo que se puede concluir que la deserción de mujeres ha aumentado preocupantemente.

Algunos autores han encontrado que a las mujeres les cuesta trabajo ingresar, permanecer y crecer en el mercado laboral STEM. Solo el 64 % de las profesionistas mexicanas STEM con hijos participa económicamente, lo que hace más grande la brecha laboral (Hernández Herrera y Hernández Herrera, 2023).

Uno de los motivos estudiados es por causa del “techo de cristal”, término que se ocupa para describir los obstáculos o barreras que no permiten que las mujeres altamente cualificadas sobresalgan en sus estudios, organizaciones o profesiones. Por ejemplo, de las 500 mejores empresas en México, solo el 3 % se encuentran dirigidas por mujeres (Camarena Adame y Saavedra García, 2018). Este “techo de cristal” puede generar frustración y desmotivación en las mujeres profesionistas STEM.

Un segundo motivo es que, en grupos donde se encuentran salones mayormente de hombres, ocurre que ellas son blanco fácil de agresiones o de acoso sexual. Lo cual puede orillarlas a abandonar sus estudios para huir de ese acoso y violencia (Olarate Ramos, 2019).

Otra razón encontrada es que muchas veces las mujeres que eligen estudiar una carrera STEM podrían desertar debido a la desmotivación causada por el «síndrome de la impostora», el cual es un autosabotaje que se provocan debido al miedo al fracaso que experimentan algunas mujeres, cuya creencia principal es la insuficiencia a pesar del éxito o el creer que no se es tan competente como se debería (Quiroz-Compeán et al., 2023).

Este descubrimiento del autosabotaje concuerda con lo establecido por la Teoría Cognitivo Social de Desarrollo de la Carrera (SCCT, por sus siglas en inglés), la cual es una teoría que durante los últimos años se ha utilizado como referencia para entender y estudiar el desarrollo académico y profesional (Lanero et al., 2015).

Teoría cognitivo social de desarrollo de la carrera

La SCCT es un modelo basado en la Teoría de la Autoeficacia y en la Teoría Social Cognitiva de Albert Bandura. Fue desarrollado por Robert W. Lent y sus colaboradores en 1994 y explica los mecanismos que regulan la elección de carrera, los intereses vocacionales (Cupani et al., 2017) e incluso ha sido usado para predecir el rendimiento académico y la permanencia en las carreras STEM (Roller et al., 2018).

El enfoque de esta teoría consiste en explicar la manera en la que el sujeto ejerce un rol proactivo y un control personal sobre su comportamiento de desarrollo de carrera y es especialmente útil para entender las fases iniciales de orientación vocacional de adolescentes y adultos jóvenes universitarios. De hecho, los principios de la SCCT se han comprobado en diversos estudios de diferentes áreas académicas (Lanero et al., 2015).

Esta teoría menciona que, en el desarrollo de la carrera vocacional, están involucradas variables cognitivas-personales, contextuales y personales, siendo las primeras el núcleo del modelo y en las que operan, a su vez, elementos o cons-

tructos derivados de la Teoría Social Cognitiva: las creencias de autoeficacia, las expectativas de resultado, los intereses y las metas y conductas de elección de carrera (Rodríguez Menéndez et al., 2015).

Autoeficacia

De acuerdo con la teoría de Bandura, las personas tienden a elegir o evitar ciertas actividades dependiendo de sus mecanismos cognitivos de evaluación de competencias, es decir, en base a la autoeficacia. El impacto de este constructo ha sido consistentemente comprobado. Consiste en la evaluación del individuo acerca de sus propias capacidades y desempeña un papel esencial para entender el comportamiento de elección de la carrera profesional, ya que el resultado de esta evaluación es la base para ejecutar y organizar conductas, para alcanzar patrones de éxito o fracaso en el logro de objetivos propuestos (Franco Delgado y Polanco Valenzuela, 2023).

Se sabe que las personas con fuertes creencias de autoeficacia abordan tareas con altos niveles de dificultad, como lo es estudiar una carrera STEM; además, tienden a esforzarse más y a incrementar su persistencia. Por el contrario, las bajas expectativas de este elemento pueden llevar a que se eviten carreras consideradas como difíciles (Romero Mantilla et al., 2022).

Diversos estudios corroboran lo anterior al encontrar una relación entre altas creencias de autoeficacia y el rendimiento académico (Medrano y Flores Kanter, 2017). Otro estudio que lo confirma encontró que, cuanto mayor sea la autoeficacia del estudiante, mayor es la probabilidad de que elija una carrera especializada en tecnología de la información.

Una investigación adicional deja en evidencia el impacto positivo que tiene el exponer a las estudiantes a una red de expertos o mentores en diversas disciplinas científicas, ya que encontraron que dicha experiencia genera un fuerte sentimiento de autoeficacia en las alumnas, lo que las inspira a ingresar en campos STEM. Incluso se descubrió que la autoeficacia elevada en los docentes influye positivamente en sus alumnas (Romero Mantilla et al., 2022).

En relación con la autoeficacia, algunos estudios encontraron que los hombres se autoperceben con más capacidades en las matemáticas que las mujeres, a pesar de tener las mismas calificaciones, lo cual los vuelve más persistentes en dicho campo que las mujeres (Hernández Herrera y Hernández Herrera, 2023). Otro estudio similar descubrió que, a diferencia de los hombres, las mujeres declaran tener menos creencias en este constructo e interés con relación a los estudios tecnológicos (Inda-Caro et al., 2017).

Expectativas de resultados

Un componente más dentro de la SCCT son las expectativas de resultados, las cuales corresponden a las creencias anticipadas sobre las consecuencias positivas o negativas de ejecutar una conducta. De esta manera, se tenderá a llevar a cabo un comportamiento solo si se anticipan resultados positivos y se evitarán las tareas en las que se prevén conse-

cuencias negativas. Es evidente que tanto el constructo de autoeficacia como el elemento de expectativas de resultados se encuentran relacionados, ya que el sujeto suele obtener resultados positivos si se poseen las capacidades necesarias (Medrano y Flores Kanter, 2017).

A su vez, resulta importante precisar que no siempre elevadas expectativas de resultados traen una motivación hacia realizar cierta conducta; existen situaciones donde, si no se tienen altas creencias de autoeficacia, aunque se tenga la certeza de que se tendrán consecuencias positivas, la actividad se evitará. Se concluye que las escuelas que promuevan una autoeficacia positiva en sus estudiantes ayudarán a que seleccionen carreras difíciles y persistan en su carrera (Romero Mantilla et al., 2022).

Interés

El elemento de interés de la SCCT se entiende como la preferencia del individuo por realizar determinada actividad (Peña Calvo et al., 2015). Son las intenciones, patrones de gusto o aspiraciones a comprometerse en una dirección vocacional particular (Cupani et al., 2017). Un estudiante desarrollará interés si se siente competente (autoeficacia) y anticipa resultados positivos (expectativas de resultados). Este proceso forma un ciclo de retroalimentación (Roller et al., 2018). Entonces, es probable que las personas pierdan en sus intereses en las conductas donde se consideren eficaces y que además esperen resultados positivos. Se han observado mayores correlaciones entre creencias de autoeficacia e intereses que entre los intereses y las habilidades reales. Aunque es necesario considerar que niveles muy altos de autoeficacia en una actividad pudieran disminuir el interés al eliminar su cualidad desafiante (Olaz, 2003).

Metas de elección

Las metas de elección o las intenciones de carrera son los planes de dedicarse y persistir en cierta actividad o de conseguir un resultado determinado en el futuro (Cupani et al., 2017). Se dividen en metas de elección, es decir, qué carrera seguir, y en metas de desempeño, que incluye el nivel de logro esperado (Roller et al., 2018). Los intereses promueven las metas de elección en el sujeto; el resultado de esas actividades dará lugar a ciertos resultados (expectativas de resultados), influenciando, a su vez, en la percepción de la autoeficacia. Es así como todos los componentes se relacionan y retroalimentan entre sí (Olaz, 2003).

A su vez, estudios confirman que las creencias de autoeficacia y las expectativas de resultados se relacionan con las metas de elección a través del interés (Peña Calvo et al., 2015); y encuentran una relación positiva entre las metas y el rendimiento académico (Medrano y Flores Kanter, 2017). Es así que, el modelo sostiene que las personas van a persistir en aquellas carreras en las que tienen elevadas creencias de autoeficacia para tener éxito, muestran interés y esperan resultados positivos (Peña Calvo et al., 2015). Las metas tendrán un mayor efecto sobre el comportamiento cuando sean más desafiantes, más claras y específicas (Olaz, 2003).

Conducta de elección de carrera

Finalmente, el elemento o constructo de conducta de elección de carrera lo componen la práctica de acciones específicas que marcan la entrada del estudiante en una línea profesional o académica (Cupani et al., 2017). Por ejemplo, inscribirse en una carrera determinada. Este último elemento cierra el bucle de retroalimentación al conseguir logros o fracasos derivados de dichas acciones, dando forma con esto al comportamiento vocacional futuro (Olaz, 2003).

Este proceso se repite a lo largo de la vida del estudiante, sobre todo en los primeros años de vida, siendo la adultez temprana donde los intereses se tienden a estabilizar. Si se quisiera impactar después de esta edad, se necesitarían experiencias de gran fuerza que impacten en las creencias de autoeficacia y de expectativas de resultado (Olaz, 2003).

Variables contextuales

La teoría reconoce que, dentro del rol proactivo que tiene el individuo sobre su conducta vocacional, también pueden influir otros factores del entorno que pueden afectarla, beneficiarla o anularla. Por esta razón, incluye variables no agénicas, como lo son las barreras o las contextuales (Medrano y Flores Kanter, 2017). En cuanto a las variables contextuales, se puede mencionar que son aquellos factores ambientales que la persona percibe que pudieran ayudar o perjudicar sus esfuerzos por lograr las metas. Por ejemplo: la disponibilidad de modelos, barreras de género, etnia, apoyos o limitaciones económicas-familiares, etc. (Peña Calvo et al., 2015).

Los estudios encontraron que, mientras menos barreras y más apoyos sociales tengan las personas, se desarrollarán mejores creencias de autoeficacia. También se encontró que, mientras más apoyo social se tenga, se tendrá la percepción de que existen menos barreras e incluso que estas variables influyen en la expectativa de resultados o en el interés (Peña Calvo et al., 2015). En este aspecto, se ha descubierto que en las mujeres los apoyos sociales tienen más fuerza en las creencias de autoeficacia que la percepción de las barreras (Inda-Caro et al., 2017).

Algunos otros estudios se han enfocado en la influencia que tienen los docentes, padres y compañeros en la elección de carrera. En uno de ellos encontraron que los maestros STEM mejoran la elección, persistencia, confianza, motivación y la eficacia de las alumnas en la ciencia. Un estudio adicional encontró que el contar con una docente mujer durante la preparatoria tiene un efecto positivo en la elección de las áreas STEM (Romero Mantilla et al., 2022).

Variables de carácter personal

Específicamente, en lo que se refiere a las variables de carácter personal, los autores consultados hacen referencia a este tipo de variables para englobar en ellas los rasgos que caracterizan al estudiante. Sobresalen en ella aspectos significativos como el género, la edad, la personalidad, la raza, entre otras (Peña Calvo et al., 2015; Franco Delgado y Polanco Valenzuela, 2023).

En esta variable se debe resaltar la importancia de los estereotipos de género al momento de elegir y persistir en una tarea, ya que es bien sabido que las carreras STEM son vistas como masculinas e incluso se tiene la creencia de que la ciencia no es compatible con las personalidades femeninas, lo que trae como consecuencia entornos académicos predominantemente masculinos y de discriminación (Hernández Herrera y Hernández Herrera, 2023).

Por lo anterior, es necesario conocer a profundidad las variables, elementos y constructos que inciden en la elección de carrera de las mujeres, sobre todo en las que eligen carreras STEM con brechas de género importantes, como lo son las carreras de tecnología e ingeniería. Si los responsables de políticas educativas quieren reducir las brechas de género en la elección de carrera, los aportes de la SCCT podrían ser importantes para lograr dicho objetivo.

Sobre la base de lo anterior es que el objetivo de este estudio consiste en analizar los elementos propuestos en la Teoría Social Cognitiva de Carrera (SCCT) en las alumnas de Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Altamira, para identificar su relación y posibles implicaciones en la permanencia en áreas STEM con alta brecha de género.

METODOLOGÍA

Esta investigación es de tipo descriptivo, ya que describe y analiza los componentes propuestos en la SCCT, buscando proporcionar una representación detallada de lo que se observa; es cuantitativa porque utiliza datos numéricos y técnicas estadísticas para explicar las variables, y es transversal debido a que analiza los datos en un momento específico.

La muestra estudiada fue seleccionada por conveniencia y está compuesta por 83 mujeres estudiantes en el periodo de septiembre-diciembre de 2024 de la carrera de Mecatrónica, cuyas edades oscilaron entre los 17 y los 24 años, de todos los cuatrimestres que abarca la carrera, desde el nivel técnico superior universitario (siete primeros cuatrimestres) hasta ingeniería.

El instrumento utilizado es SIC-STEM, disponible únicamente en idioma inglés. Fue creado por Roller et al. (2018), tiene una confiabilidad de 0.916 y se compone por 45 reactivos distribuidos: 15 ítems para medir el área de Matemáticas, 15 para Ciencia y 15 para medir Ingeniería y Tecnología. La prueba está basada en la SCCT e incluye los cinco constructos en cada área: interés (reactivos 1, 6 y 11), autoeficacia (ítems 2, 7 y 12), expectativas de resultados (3, 8, 13), metas de elección (4, 9, 14) y conducta de elección de carrera (5, 10, 15). Para la calificación de la encuesta se utiliza una puntuación con la escala de Likert de 1 a 5. En ella, 1 se identifica con “fuertemente en desacuerdo” y 5 con “fuertemente de acuerdo”. Este cuestionario tiene la ventaja, a diferencia de las otras investigaciones mencionadas, de brindar puntajes con respecto a los constructos contenidos en la teoría SCCT, pero además los mismos constructos divididos por las tres áreas STEM, lo que permite obtener resultados novedosos y más precisos sobre cada constructo.

El procedimiento para recolectar e interpretar los datos fue el siguiente: en una primera etapa, tres docentes del área de inglés efectuaron la traducción de los reactivos, cuidando la equivalencia semántica y la claridad del lenguaje para población universitaria. Posteriormente, se llevó a cabo una revisión conjunta de las versiones traducidas para consensuar una versión final, priorizando que los ítems conservaran el sentido teórico de los constructos de la SCCT (interés, autoeficacia, expectativas de resultados, metas de elección y conducta de elección) y que el vocabulario resultara comprensible para estudiantes de Mecatrónica. Finalmente, el instrumento se implementó en formato digital (Google Forms), manteniendo la escala tipo Likert de 1 a 5 empleada en la versión original. Los datos se interpretaron con los programas Excel 365 y Minitab 20.

Para realizar la validez del instrumento de recolección de datos por juicio de expertos se utilizó una plantilla de validación para instrumentos de recolección de datos. Se incluye una sección de datos generales en la que los expertos proporcionan sus nombres y apellidos, su grado académico, la institución en la que laboran y su cargo. Además, incluye una serie de indicadores, todo esto medido por una escala que asciende en puntaje desde un grado deficiente, regular, bueno, muy bueno hasta llegar a un grado excelente. Al final de esta propuesta se incluye una valoración cuantitativa y cualitativa de los puntajes obtenidos a través de los expertos y una opinión de aplicabilidad, así como la firma por parte de los expertos.

RESULTADOS

Los resultados fueron analizados con el objetivo de obtener la confiabilidad de la prueba por medio del coeficiente alfa de Cronbach. para ello se obtuvo un índice de 0.9164, lo que significa una confiabilidad excelente. del mismo modo, en cuanto a la confiabilidad en cada área, se encontró que en matemáticas se posee una confiabilidad muy buena (0.8387); y el área de ciencias obtuvo un puntaje de 0.9058, lo que significa una excelente confiabilidad. Por último, el área de ingeniería y tecnología obtuvo un excelente puntaje (0.9066).

Los resultados obtenidos en la prueba son los siguientes: en cuanto al área de Matemáticas, en el componente de autoeficacia se obtuvo un promedio de 11.18; en el de expectativas de resultados, un promedio de 11.89; en interés, de 11.13; en metas de elección, 11.09; y en conducta de elección de carrera, 11.25 (ver Figura 1).

En el área de Ciencias, en el componente de autoeficacia se observa un promedio de 10.36; en expectativas de resultados, 10.57; en interés, 10.3; en metas de elección, 9.3; y en conducta de elección de carrera, 7.5 (ver Figura 2).

Finalmente, en el área específica de ingeniería y tecnología, se obtuvo en el componente de autoeficacia, un promedio de 12.74; en el de expectativa de resultados, 13.06; en interés, 12.87; en el de metas de elección, 13.38; y en la conducta de elección de carrera, 12.13 (ver Figura 3).

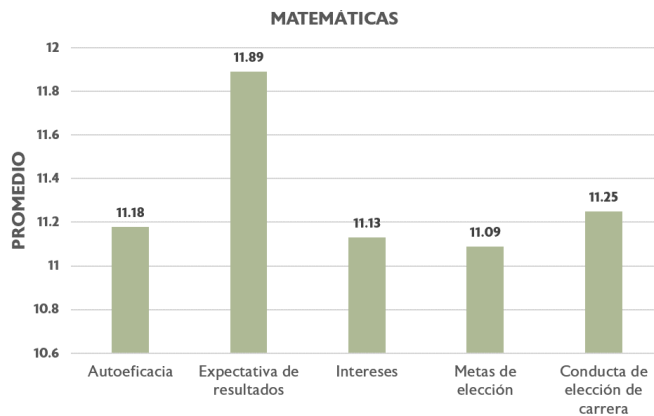


Figura 1. Promedio de los componentes SCCT área Matemáticas

Nota. Elaboración propia con datos del cuestionario SIC-STEM.

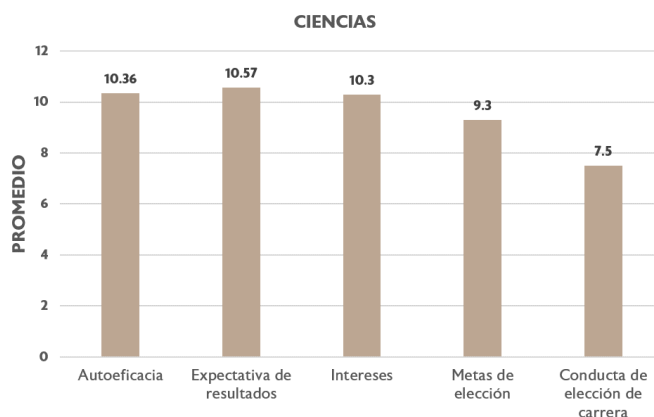


Figura 2 Promedio de los componentes SCCT área Matemáticas

Nota. Elaboración propia con datos del cuestionario SIC-STEM.

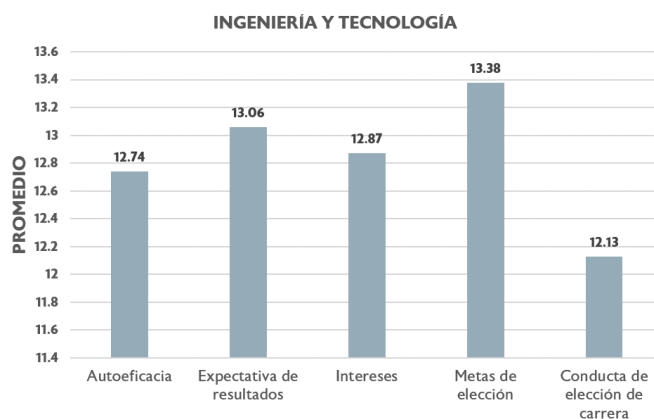


Figura 3 Promedio de los componentes SCCT área Ingeniería y Tecnología

Nota. Elaboración propia con datos del cuestionario SIC-STEM.

Si se toman en cuenta las tres áreas se obtienen los siguientes resultados: el componente de autoeficacia alcanzó un promedio total de 11.42; el de expectativa de resultados llegó a 11.84; el de interés, 11.43; el de metas de elección, 11.26; y el de conducta de elección de carrera, 10.29 (ver Figura 4).

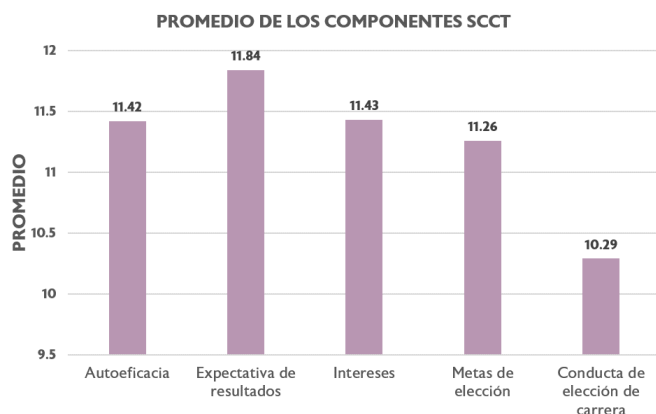


Figura 4. Promedio de los componentes SCCT

Nota. Elaboración propia con datos del cuestionario SIC-STEM.

Finalmente, mediante la aplicación de una prueba de normalidad de Anderson-Darling al promedio de autoeficacia, expectativa e interés, y con un nivel de confianza del 95 %, se puede afirmar que los datos se ajustan a una distribución probabilística normal. Además, al aplicar una de las medidas de posición, específicamente los cuartiles, se obtienen los siguientes resultados: el primer cuartil es de 10.44, la mediana es de 11.66 y el tercer cuartil es de 12.77 (ver Figura 5).

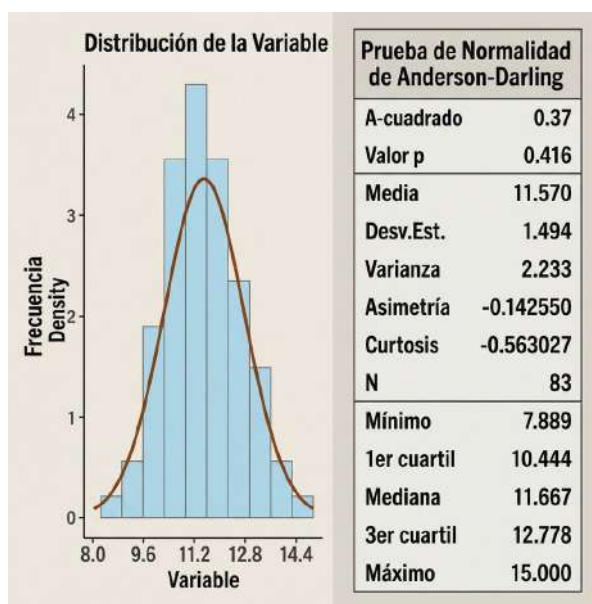


Figura 5. Prueba de normalidad promedio componentes autoeficacia, expectativa de resultados e interés

Nota. Elaboración propia con datos del cuestionario SIC-STEM.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos ayudaron a cumplir con el objetivo planteado en cuanto a analizar los elementos propuestos en la SCCT en las alumnas de Mecatrónica. Si se contrastan los resultados con lo establecido por los autores, encontramos que, en primer lugar, la autoeficacia en el área de Ingeniería y Tecnología es el elemento que se encuentra más elevado (84.9 %). Según Romero Mantilla et al. (2022) y Peña Calvo et al. (2015), esto explica la naturaleza de la decisión vocacional de las estudiantes por la carrera de Mecatrónica. Por lo que se confirma lo encontrado por Inda-Caro et al. (2017) al asegurar la gran importancia de este constructo en las mujeres en el campo tecnológico.

Aunque, en cuanto al área de Ciencias y Matemáticas, se ratifica lo enunciado por Hernández Herrera y Hernández Herrera (2023), dado que se encontró que las mujeres tienen el componente de autoeficacia en ambas bajo (69 % en Ciencias, 74.5 % Matemáticas). Esto es un dato preocupante, sobre todo si se toma en cuenta que el área de Matemáticas es clave al momento de estudiar una Ingeniería en Mecatrónica.

En virtud de analizar un poco más la teoría SCCT, se obtuvo el dato de que el 87.9 % de las alumnas encuestadas son regulares, es decir, nunca se han dado de baja por reprobación. Destaca que en el primer cuartil se encontraron cuatro estudiantes irregulares y en el cuarto únicamente se identificaron dos alumnas irregulares de un total de diez alumnas. Lo que refuerza lo mencionado por Medrano y Flores Kanter (2017) en cuanto a que existe una relación entre una elevada autoeficacia y un adecuado rendimiento académico, superando con esto el autosabotaje encontrado comúnmente en las carreras STEM (Quiroz-Compeán et al., 2023).

Otro punto a resaltar es que tanto el componente de autoeficacia como el de expectativa de resultados y el de interés se encuentran elevados en el área de Ingeniería y Tecnología, lo que, de acuerdo con la SCCT, es completamente esperado, ya que se forma entre esos constructos un ciclo de retroalimentación (Roller et al., 2018). De hecho, según Romero Mantilla et al. (2022), si ambos componentes se encuentran elevados, esto reflejará una mayor persistencia en la carrera (lo que se refuerza con el hallazgo ya mencionado de que el 87.9 % de las estudiantes encuestadas son regulares), a menos de que se elimine de la profesión su cualidad desafiante. Esto explicaría por qué existen en la UT de Altamira alumnas de grupos de nivel avanzado de inglés que desertan o, en su defecto, pierdan la motivación (Olaz, 2003).

Cabe resaltar que una de las aportaciones más novedosas de este trabajo en comparación con los realizados por otros autores es que el instrumento utilizado no sólo mide cada constructo de la SCCT, sino que además se obtuvieron resultados de dichos constructos, pero específicamente de cada área STEM.

En cuanto a las conclusiones con respecto a los resultados del alfa de Cronbach, se obtuvo que, en general, la consis-

tencia interna de la prueba del instrumento es buena y corresponde con la reportada por Roller et al. (2018), lo cual quiere decir que tiene una adecuada confiabilidad y que sus respuestas tienen una buena correlación.

Ahora bien, analizando los constructos de la SCCT, se observa que el componente con mayor puntaje en promedio fue el de expectativa de resultados (11.84), en particular en el área de ingeniería y tecnología (13.06), lo cual quiere decir que las estudiantes de Mecatrónica anticipan resultados positivos de sus conductas en la carrera que estudian.

A su vez, se observa en promedio una elevada autoeficacia (11.42), sobre todo en el área de Ingeniería y Tecnología (12.74), lo cual significa que las alumnas creen que tienen las capacidades necesarias para desempeñar las tareas de ingeniería y tecnología. Lo podemos ver reflejado en el reactivo con mayor puntaje de todos (4.49), que enuncia: "Creo que puedo ser exitosa en ingeniería". Esto significa que las alumnas de Mecatrónica tienen elevadas expectativas de resultados de ellas mismas en su carrera.

El segundo constructo que obtuvo mayor puntaje en promedio fue el de interés (11.43), destacando, como en los casos anteriores, el área de Ingeniería y Tecnología (12.87), el cual refleja la preferencia del individuo por el desarrollo de esta actividad y muestra el compromiso de las estudiantes por esta vocación profesional.

En promedio, el constructo con menor puntaje fue el de conducta de elección de carrera (10.29) y, dentro del área de ingeniería y tecnología, el constructo con menor puntaje también fue el de conducta de elección de carrera (12.13), lo que podría reflejar que las estudiantes realizan un menor número de acciones específicas relacionadas con esta disciplina o carrera.

De acuerdo con la SCCT y basándonos en la prueba Anderson-Darling, se han podido ubicar a las 22 alumnas que se encuentran en riesgo de deserción, ya que se ubican por debajo del primer cuartil en promedio en las expectativas de resultado, autoeficacia e interés (Peña Calvo et al., 2015). Por lo que es importante poner atención en esos casos y establecer estrategias de gran fuerza, lo suficientemente significativas (Olaz, 2003), que permitan a las estudiantes mejorar las creencias de ellas mismas sobre sus habilidades y capacidades, es decir, su autoeficacia (Romero Mantilla et al., 2022).

Entonces, se sugiere ampliar esta investigación midiendo el impacto del uso de ciertas estrategias, en especial el constructo de autoeficacia, así como lo indican Inda-Caro et al. (2017), usando como medida de referencia estos resultados obtenidos, enfocándose en las alumnas con riesgo de deserción.

Una de las estrategias a medir podría ser el integrarlas a un club de la universidad, como el de robótica, inteligencia

artificial, niñas STEM, tutorías, asesorías, etc., ya que existen investigaciones que comprueban la eficacia de estas estrategias (Martínez Gámez et al., 2017). Otra estrategia pudiera ser implementar ciertos apoyos sociales (Peña Calvo et al., 2015), como las becas, sobre todo considerando lo mencionado por los autores con respecto a la gran influencia de dichos apoyos en las mujeres (Inda-Caro et al., 2017).

Incluso se pueden comparar los resultados de este cuestionario entre grupos diversos de estudiantes; por ejemplo, entre las alumnas que son regulares o que no han desertado con las que no lo son, o medir los componentes de la SCCT en los docentes para revisar si efectivamente estos influyen de manera positiva en las estudiantes (Romero Mantilla et al., 2022).

También se podría ampliar la población para incluir otras escuelas de Mecatrónica u otras carreras STEM con brechas de género importantes, como la carrera de Mantenimiento. Algunas limitaciones que se presentaron durante el estudio fueron, en primer lugar, que no existía una versión en español de la prueba, por lo que se tuvo que traducir al español y adecuarla lo mejor posible. De hecho, dado que el instrumento fue creado para un contexto distinto, en este estudio se reconoce la necesidad de fortalecer la evidencia de validez en futuras aplicaciones mediante procedimientos adicionales. Asimismo, se recomienda reportar en estudios posteriores la consistencia interna del instrumento en la muestra local para valorar con mayor precisión su desempeño en el contexto mexicano.

Una nueva limitación se produce en relación con la muestra seleccionada por conveniencia. Si bien el tipo de muestreo seleccionado es pertinente para estudios descriptivos y exploratorios en contextos institucionales, implica limitaciones para la generalización de los hallazgos. En particular, la ausencia de selección probabilística puede introducir sesgos asociados a la disponibilidad y disposición a participar, por lo que los resultados deben interpretarse como una caracterización del grupo evaluado y no como una estimación representativa de todas las estudiantes de Mecatrónica de la institución ni de otras universidades o contextos. En consecuencia, las conclusiones se circunscriben a las participantes del estudio y se recomienda que investigaciones futuras amplíen el tamaño muestral e incorporen estrategias de muestreo probabilístico o institucional para fortalecer la validez externa y la comparabilidad de los resultados.

Una limitación o dificultad adicional se presentó al momento de la aplicación del instrumento, ya que, al ser una carrera muy exigente, las estudiantes tenían poco tiempo para otras actividades. También porque las estudiantes del nivel de ingeniería acudían a la escuela solo por las tardes y eso era una complicación para contactarlas.

REFERENCIAS

- Bello, A., y Estébanez, M.E. (2022). *Una ecuación desequilibrada: aumentar la participación de las mujeres en STEM en LAC* (An unbalanced equation: increasing women's participation in STEM in LAC). UNESCO/CILAC. <http://forocilac.org/wp-content/uploads/2022/02/PolicyPapers-CILAC-Gender-ESP.pdf>
- Camarena Adame, M.E., y Saavedra García, M.L. (2018). El techo de cristal en México (The glass ceiling in Mexico). *Revista de Estudios de Género. La ventana*, 5(47). <https://doi.org/10.32870/v.v5i47.6680>
- Cupani, M., Azpilicueta, A.E., y Sialle, V. (2017). Evaluación de un modelo social-cognitivo de la elección de la carrera desde la tipología de Holland en estudiantes de la escuela secundaria (Evaluation of a social-cognitive model of career choice based on Holland's typology in high school students). *Revista Española de Orientación y Psicopedagogía*, 28(3), 8-24. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=338254890001>
- Franco Delgado, E.D., y Polanco Valenzuela, M. (2023). Elección de la carrera profesional y la Teoría Social Cognitiva (Career choice and Social Cognitive Theory). *Revista de Psicología*, 13(2), 117-141. <https://doi.org/10.36901/psicologia.v13i2.1606>
- García Dobarganes, P.C., y Masse Torres-Tirado, F.M. (2022). *¿Dónde están las científicas? Brechas de género en carreras de STEM* [Documento de Investigación] [Where Are the Women Scientists? Gender Gaps in STEM Careers (Research Document)]. Instituto Mexicano para la Competitividad, A. C. https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2022/02/%C2%BFDo%CC%81nde-esta%CC%81n-las-cienti%CC%81ficas__Documento_20220201.pdf
- González Barrón, M.T., Alvarado Medellín, M., y Vázquez Castaño, S. (2024). Brechas de género en la carrera de TSU mecatrónica de la UT de Altamira (Gender gaps in the TSU program in Mechatronics at the UT of Altamira). *Revista Politécnica de Aguascalientes*, 3(3), 101-106. <https://revistapolitecnicaags.upa.edu.mx/wp-content/uploads/2024/07/V3128.pdf>
- Hernández Herrera, C.A., y Hernández Herrera, M.C. (2023). Revelando la brecha de género en STEM: experiencias de mujeres egresadas de un Instituto Tecnológico Federal (Revealing the gender gap in STEM: experiences of women graduates from a Federal Institute of Technology). *Acta Universitaria*, 33, 1-14. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3862>
- Inda-Caro, M.M., Rodríguez-Menéndez, M. del C., y Torio-López, S. (2017). Evaluación del modelo cognitivo social de desarrollo de la carrera para la predicción de las metas en las materias tecnológicas de estudiantes de bachillerato (Evaluation of the social cognitive model of career development for predicting goals in technological subjects among high school students). *Estudios Sobre Educación*, 32, 49-71. <https://doi.org/10.15581/004.32.49-71>
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2023). *Mujeres en STEM en los Estados* (Women in STEM in the States). <https://imco.org.mx/mujeres-en-stem-en-los-estados/#:~:text=Sin%20embargo%2C%20en%20M%C3%A9xico%20las,profesionistas%20en%20STEM%20son%20mujeres>
- Lanero, A., Vázquez, J.L., y Muñoz-Adánez, A. (2015). Un modelo social cognitivo de intenciones emprendedoras en estudiantes universitarios (A social cognitive model of entrepreneurial intentions in university students). *Anales de Psicología*, 31(1), 243-259. <https://doi.org/10.6018/analesps.31.1.161461>
- Lázaro Álvarez, N., Callejas, Z., Griol, D., & Durán Benejam, M. (2017). *La deserción estudiantil en educación superior: S.O.S. en carreras de ingeniería informática* (Student dropout in higher education: S.O.S. in computer engineering careers). En Congreso CLABES. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/clabes/article/view/1674>
- Martínez Gámez, J.C., Rossette García, J., y Maya Palacios, E.U. (2017). Impacto del Programa Institucional de Tutorías en las Carreras de Mecatrónica y Energías Renovables de la UT de Altamira (Impact of the Institutional Tutoring Program on the Mechatronics and Renewable Energy Programs at the UT of Altamira). *Pistas Educativas*, 39(126), 172-183. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/1000/851>
- Medrano, L.A., y Flores Kanter, P.E. (2017). La Problemática del Ingreso a la Universidad desde una perspectiva de la teoría de la agencia social: Aportes de la Teoría Social Cognitiva (The Problem of University Admission from a Social Agency Theory Perspective: Contributions of Social Cognitive Theory). *Revista Argentina de Educación Superior*, 9(15), 11-35. <https://repositorio.21.edu.ar/server/api/core/bitstreams/0d2c2ab4-9b12-4adc-9e81-531a0b893091/content>
- Olarte Ramos, C.A. (2019). Conflictos estudiantiles y género: el símbolo de la masculinidad en la escuela (Student conflicts and gender: the symbol of masculinity in school). *Escenarios*, 28. <https://revistas.unlp.edu.ar/escenarios/article/view/9246>
- Olaz, F. (2003). Modelo Social Cognitivo del Desarrollo de Carrera (Social Cognitive Model of Career Development). *Revista Evaluar*, 3(1), 15-34. <https://doi.org/10.35670/1667-4545.v3.n1.605>
- Peña Calvo, J.V., Inda Caro, M.M. y Rodríguez Menéndez, M.C. (2015). La Teoría Cognitivo Social de Desarrollo de la Carrera: Evidencias al Modelo con una muestra de Estudiantes Universitarios de la Rama Científica (Social cognitive career theory: evidence model with a sample of undergraduate students from science disciplines). *Bordón. Revista pedagogía* 67(3), 103-122. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2015.67306>
- Quiroz-Compeán, G., de la Torre-Zavala, S., y Villa-Cedillo, S.A. (2023). Mentorías para mujeres STEM: una propuesta para reducir la brecha de género (Mentoring for women in STEM: a proposal to reduce the gender gap). *Revista Ciencia UANL*, 26(121), 20-35. <https://doi.org/10.29105/cienciauanl26.121-2>
- Quispe Contreras, K. (2023). *Mujeres STEM. Motivaciones de las niñas chilenas de educación secundaria para escoger áreas de profundización relacionadas con las disciplinas STEM* (Women in STEM. Motivations of Chilean secondary school girls to choose areas of specialization related to STEM disciplines). [Documentos de trabajo, número especial (2.ª época)], Fundación Carolina. <https://doi.org/10.33960/issn-e.1885-9119.DTE11>
- Rodríguez Menéndez, M.C., Inda Caro, M., y Peña Calvo, J.V. (2015) Validación de la teoría cognitivo social de desarrollo de la carrera con una muestra de estudiantes de ingeniería (Validation of the social cognitive theory of career development with a sample of engineering students). *Educación XXI*, 18(2). <https://doi.org/10.5944/educxxi.14604>
- Roller, S.A., Lampley, S.A., Dillihunt, M.L., Benfield, M.P.J. & Turner, M.W. (2018). *Student Attitudes Toward STEM: A Revised Instrument of Social Cognitive Career Theory Constructs* (Fundamental). Paper presented at 2018 ASEE Annual Conference & Exposition. <https://doi.org/10.18260/1-2--31001>

- Romero Mantilla, C., Cortés Aguilar, A., y Cote Peña, C.P. (2022). *Elección de carrera en estudiantes mujeres: Una revisión de literatura a la teoría de la Carrera Cognitiva Social* (Career choice in female students: A literature review of Social Cognitive Career theory). En: VIII Congreso de Investigación y Género. Reflexiones sobre investigación para avanzar en igualdad. <https://idus.us/server/api/core/bitstreams/3a9a817a-5fd9-4696-967e-9721ac034754/content>
- Saravia, E., y Cifuentes, G. (2024). *Brechas de género en las industrias culturales y creativas* (Gender gaps in the cultural and creative industries). E. Prada & M. Inthamoussú (Eds.). <https://doi.org/10.18235/0013224>
- Szenkman, P., y Lotitto, E. (2020). *Mujeres en STEM: cómo romper con el círculo vicioso* (Documento de políticas públicas n.º 224) [Women in STEM: How to Break the Vicious Circle (Public Policy Document No. 224)]. Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento. <https://www.cippec.org/wp-content/uploads/2020/11/224-DPP-PS-Mujeres-en-STEM-Szenkman-y-Lotitto-noviembre-2020-1.pdf>

Desarrollo de recursos interactivos para fomentar la participación femenina en STEAM

Anabelem Soberanes Martín; Edgar Serrano Pérez; José Luis Castillo Mendoza; Brenda Vianey Hernández Miramontes; Magally Martínez-Reyes

RESUMEN

Para incrementar la participación femenina en las áreas STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas), se planteó como objetivo desarrollar recursos educativos interactivos para apoyar los procesos de enseñanza-aprendizaje y empoderar a las mujeres en estas disciplinas. Se adoptó una metodología de diseño mixto, estructurada en dos fases secuenciales: desarrollo técnico-pedagógico de las aplicaciones, definiendo las tecnologías centrales de cada una; y evaluación de usabilidad, con población universitaria (estudiantes y docentes). Se elaboraron tres recursos: simulación para la visualización de vectores de física en 2D dentro de una hoja de cálculo, controlada mediante joysticks físicos y una tarjeta ESP32; una aplicación para el aprendizaje de preposiciones de movimiento en inglés integrando tecnología; y un entorno virtual de aprendizaje que incorpora realidad aumentada aplicado a álgebra lineal. Los resultados de la evaluación preliminar demuestran alta aceptación, lo que sugiere que estos materiales son percibidos como atractivos y pertinentes. El proyecto evidencia cómo la tecnología educativa puede ser un vehículo eficaz para fomentar la inclusión y la equidad de género en STEAM; además, se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), relativos a educación de calidad, igualdad de género, industria e innovación, y reducción de las desigualdades.

Palabras clave: educación superior, inclusión, interactividad, recurso educativo, STEAM.

Cómo citar: Soberanes-Martín, A., Serrano-Pérez, E., Castillo-Mendoza, J., Hernández-Miramontes, B., Martínez-Reyes, M. (2026). Desarrollo de recursos interactivos para fomentar la participación femenina en STEAM. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto11>

Development of interactive resources to promote female participation in STEAM

ABSTRACT

To increase female participation in STEAM areas (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics), the objective was to develop interactive educational resources to support teaching-learning processes and empower women in these disciplines. A mixed design methodology was adopted, structured in two sequential phases: technical-pedagogical development of the applications, defining the core technologies of each one; and usability evaluation, with a university population (students and faculty). Three resources were developed: a simulation for the visualization of 2D physics vectors within a spreadsheet, controlled through physical joysticks and an ESP32 board; an application for learning prepositions of movement in English integrating technology; and a virtual learning environment that incorporates augmented reality applied to linear algebra. The preliminary evaluation demonstrates high acceptance, suggesting that these materials are perceived as attractive and relevant. The project shows how educational technology can be an effective vehicle for promoting inclusion and gender equity in STEAM; in addition, it aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs) related to quality education, gender equality, industry and innovation, and reduction of inequalities.

Keywords: higher education, inclusion, interactivity, educational resource, STEAM.

INTRODUCCIÓN

La UNESCO, un organismo de la Organización de las Naciones Unidas especializado en temas de educación, ha reportado y analizado una reducida participación de la mujer en las áreas STEM, debida a múltiples factores. Se destacan las limitadas capacidades y habilidades del profesorado, así como un reducido espectro de recursos educativos disponibles para que los docentes puedan enfocar su cátedra hacia temáticas y prácticas de laboratorio relacionadas con la ciencia y la tecnología. El protocolo se vincula al 4to. objetivo de desarrollo sostenible, “Educación de calidad”, así como al área 4, “Ciencias de la Conducta y de la Educación”, del anterior Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), hoy Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

Se tiene un enfoque en la innovación y desarrollo tecnológico, que permita la creación de recursos educativos interactivos para apoyar a los docentes en su práctica docente, con dispositivos innovadores derivados del uso de tecnologías disruptivas y herramientas de fabricación digital.

Ante las diversas problemáticas que han limitado la participación de la mujer en las áreas STEAM, el presente proyecto aborda la problemática de generar recursos educativos interactivos que, además, puedan integrar, en algunos casos, mecatrónica en favor de mejorar la práctica docente de los profesores de nivel medio superior o superior. Los autores han realizado avances significativos en la generación de recursos educativos con tarjetas con microcontrolador, obteniendo resultados satisfactorios (Serrano-Pérez et al., 2024 y 2025).

Con el propósito de mitigar los factores que limitan la participación femenina en las áreas STEAM (ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas), esta investigación tuvo como objetivo desarrollar y evaluar recursos educativos interactivos para apoyar los procesos de enseñanza-aprendizaje y ayudar a empoderar a las mujeres en estas disciplinas.

El diseño e implementación de recursos educativos favorece las diversas etapas de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Existe una creciente necesidad de la generación de recursos educativos que sean accesibles y de bajo costo (Mullens & Hoffman, 2023), tanto para estudiantes como profesores, a fin de mejorar tanto el aprendizaje autónomo como la práctica docente de los catedráticos. Ante diversas situaciones en las cuales la educación presencial no es factible, ya sea por contingencias ambientales (Schwartz et al., 2020) o de salud (Pocinho et al., 2020), los recursos educativos son fundamentales para sostener el aprendizaje activo de los estudiantes a distancia. Las nuevas generaciones de estudiantes cada vez son más digitalizadas, ya que cuentan con diversos dispositivos computacionales, como celulares, computadoras personales y otros dispositivos que se conectan a internet. De esta manera, el estudiante tiene acceso inmediato a herramientas computacionales que pueden ser aprovechadas en el contexto educativo. Ello es posible dada la alta capacidad de procesamiento de los dispositivos, así como la gran cantidad de aplicaciones educativas a su alcance. Sin embargo, por diversos motivos, la capacitación docente para asimilar las nuevas tendencias tecnológicas representa uno de los grandes desafíos para lograr

una mayor conexión entre los estudiantes, que son nativos digitales; en un contexto donde los profesores se encuentran más familiarizados con la práctica docente tradicional. La misma, limita la incorporación de tecnologías actuales en el aula, que está generalmente dirigida mediante el empleo de lápiz, papel y pizarrón.

En muchas ocasiones se aborda el contenido de las asignaturas mediante enfoques teóricos, sin un contexto real de aplicación, lo que dificulta dar un sentido de aprendizaje al conocimiento, que no se enfoca en abordar o resolver alguna problemática de la vida real. En este sentido, se han identificado distintos factores que han originado un alejamiento de las mujeres hacia el aprendizaje de las áreas STEAM. Dentro de los factores relacionados con la escuela y las aulas, la UNESCO, uno de los organismos especializados en educación de la Organización de las Naciones Unidas, brinda un panorama actual sobre esta problemática (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2019), donde se resalta que las cualidades y aptitudes de los docentes, así como los recursos educativos que utilizan, son factores que favorecen o disminuyen la participación de las mujeres en las áreas STEAM. Por un lado, la práctica docente puede influir en la decisión de las mujeres para dirigirse al desempeño de actividades relacionadas con la ciencia, tecnología, ingeniería y las matemáticas. Este efecto puede ser tanto positivo como negativo y se encuentra en estrecha relación con las habilidades y capacidades con las que cuenta el docente para aprovechar tanto su nivel de experiencia como de conocimientos, así como la diversidad de recursos educativos que utiliza durante la práctica docente.

Una de las formas en las cuales se puede abordar la presente problemática es con la generación de recursos educativos que le permitan al docente mejorar su práctica docente, presencial o en línea, integrando tecnologías actuales que favorezcan los distintos estilos de aprendizaje de las y los estudiantes en las áreas STEAM (Idrizi et al., 2023). A medida que se desarrollan recursos educativos con una mayor interactividad y bajo un enfoque tecnológico actual e innovador, es posible dotar a los profesores de herramientas que mejoren su práctica docente, al lograr atraer una mayor atención y enfoque del estudiante con dispositivos tecnológicos educativos que son accesibles, innovadores y de bajo costo.

El uso de tarjetas con microcontrolador y dispositivos electrónicos ha sido utilizado recientemente por integrantes del cuerpo académico para la creación de recursos educativos (Serrano-Pérez et al., 2023; Serrano-Pérez & Soberanes-Martin, 2024; Serrano-Pérez et al., 2024a; Serrano-Pérez et al., 2024b). Aunque se han obtenido resultados iniciales significativos, se ha detectado la necesidad de contar con una mayor diversidad de herramientas de fabricación digital (Jarillo Aguilar, 2023; Lorenzo & Lorenzo, 2021; Soomro et al., 2021) para la fabricación de recursos educativos que sean más completos y complejos, a fin de obtener un alto grado de interactividad.

En el proyecto se desarrollaron tres recursos educativos interactivos que favorecen la inclusión de la mujer en áreas

de la ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas. Uno de ellos consiste en el fomento de desarrollos tecnológicos que se materializan en sistemas mecatrónicos que adoptan la forma de dispositivos hápticos. Los mismos, permiten la interacción de profesores y educandos con ambientes educativos virtuales entre los que se pueden incluir: hojas de cálculo, simuladores interactivos o aplicaciones de realidad virtual y/o aumentada en el contexto de enseñanza y aprendizaje de distintas temáticas de la física y las matemáticas.

Se considera que el proyecto es altamente factible. La apreciación se basa en el hecho de que recientemente integrantes del cuerpo académico, y el colaborador en estancia posdoctoral, han realizado desarrollos tecnológicos enfocados en el área de la electrónica y la computación. La propuesta incluyó el diseño y fabricación de dispositivos mecánicos como un componente complementario, alcanzando un alto nivel de integración mecatrónica. Esta incorpora nuevas funcionalidades dirigidas a incrementar la interactividad y mejorar la consolidación del conocimiento, por la retroalimentación en tiempo real que el estudiante recibe durante la manipulación directa de los dispositivos.

También se busca atender la temática 4 de los ODS de la Organización de las Naciones Unidas, denominada "Educación de calidad", considerando la inclusión de la mujer en las áreas STEM. Por su parte, la UNESCO, que es un organismo especializado en el área de educación, ha identificado la misma problemática docente y de recursos educativos, que se abordan en este proyecto, lo que refuerza su relevancia y alineación con los objetivos globales.

La revisión en la literatura muestra que las tecnologías de fabricación digital crean una huella permanente en los estudiantes y docentes que las utilizan para la creación de dispositivos y prototipos de base tecnológica. En el ámbito educativo, permiten consolidar los conocimientos a través de la prueba y verificación de conceptos teóricos, dado que generan instrumentos tangibles y prototipos con los que el estudiante puede interactuar, manipular y controlar en tiempo real, observando cambios en la dinámica de funcionamiento, verificando y contrastando resultados obtenidos numéricamente mediante teorías y modelos computacionales en una simulación, además de observar el comportamiento temporal en un sistema físico que se comporta en un escenario real.

Para el logro de los objetivos propuestos se propone un paradigma educativo innovador en el que se le brinda tanto al docente como al estudiante recursos educativos interactivos, accesibles y de bajo costo. Estos permiten consolidar el conocimiento teórico, tomando como eje fundamental la interacción humano-computadora. De esta manera, es posible fortalecer la capacidad científica y tecnológica en la comunidad de influencia, en cuanto a equipamiento con tecnologías disruptivas que conlleven a mejores prácticas docentes en beneficio de la comunidad universitaria.

A continuación, se describe la metodología y los resultados, en donde se detalla el diseño instruccional de cada

uno de los tres recursos, que incluyen algunas actividades para fortalecer la participación femenina en áreas STEAM, así como las consideraciones finales.

DESARROLLO

La presente sección detalla el enfoque metodológico empleado para desarrollar y evaluar los recursos educativos: simulador de vectores con ESP32, aplicación para aprendizaje de inglés con gamificación y entorno virtual para álgebra lineal con realidad aumentada.

Metodología

Se adoptó una metodología de diseño mixto. La misma está estructurada en dos fases secuenciales:

1. **diseño instruccional**, que incluye el desarrollo técnico-pedagógico de las aplicaciones, definiendo las tecnologías centrales de cada una, y
2. **la evaluación de usabilidad**, con población universitaria (estudiantes y docentes), mediante la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS), aplicada a estudiantes y docentes de educación superior.

Este enfoque se fundamenta en los principios de diseño centrado en el usuario (Norman, 2013) y aprendizaje multimedia (Mayer, 2021). Este enfoque se destaca por priorizar la creación de experiencias interactivas, accesibles y alineadas con estándares pedagógicos.

Participantes

Las pruebas del recurso de simulación para física, orientado a la visualización de vectores, se han realizado únicamente de funcionalidad. Para el recurso 2, incluyó la participación de 88 alumnos de tres instituciones de educación superior de ingeniería en computación, informática y sistemas computacionales (una universidad pública estatal y 2 de instituciones pertenecientes al Tecnológico Nacional de México). Además, cinco docentes de las tres instituciones.

Con el propósito de evaluar la percepción y experiencia de los usuarios se aplicó un cuestionario de usabilidad al Entorno Virtual de Aprendizaje para álgebra lineal, se aplicó un cuestionario a una muestra de 34 estudiantes de nivel superior, pertenecientes en su mayoría al Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca (73 %), seguido por el Tecnológico de Chalco (21 %) y otros institutos con menor representación. El 79 % de los participantes cursa la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, lo cual indica un perfil mayoritariamente técnico entre los usuarios.

Instrumentos

Para el recurso de las preposiciones en inglés se empleó la System Usability Scale (SUS), cuestionario diseñado para evaluar el nivel de usabilidad de productos y servicios; consta de 10 preguntas con 5 opciones de respuesta. Las respuestas se presentan en una escala Likert que va de 1 (totalmente en

desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo). Posteriormente, el SUS calcula la calificación de la aplicación evaluada en una escala de 0 a 100; cuanto mayor sea esta puntuación, mayor será el nivel de usabilidad (Brooke, 1996).

Asimismo, para el recurso de álgebra, la evaluación de usabilidad se realizó por medio de un instrumento, el cual se fundamentó bajo los criterios de la norma ISO/IEC 9241-11, que define la usabilidad como una medida en la cual un sistema puede ser empleado por usuarios específicos para alcanzar objetivos particulares con eficiencia y satisfacción. El cuestionario incluyó preguntas estructuradas en una escala tipo Likert y una métrica NPS (Net Promoter Score).

Procedimiento

Se partió del diseño tecnopedagógico, para lo cual se utilizó el modelo gradual multidisciplinario, que combina perspectivas educativas y tecnológicas a través de tres procesos interrelacionados, que están basados en un modelo gradual multidisciplinario:

- El **primer paso** involucra el uso de ingeniería de procesos para agrupar y analizar diferentes tecnologías, estrategias educativas y el modelo pedagógico del constructivismo.
- El **segundo paso** considera aspectos relevantes del software o hardware utilizados con fines educativos.
- En el **tercer paso** se diseña un diagrama general, utilizando las coincidencias entre las estrategias de los primeros dos pasos.

De esta manera, las tecnologías utilizadas están orientadas al desarrollo instruccional para implementar un sistema basado en conocimiento que incorpore la realidad aumentada y la inteligencia artificial para el aprendizaje e integración STEAM (Flores Nicolás, 2019).

El diseño instruccional incluye ISTE, siglas de la International Society for Technology in Education (Sociedad Internacional para la Tecnología en la Educación), organización que se dedica a promover el uso efectivo de la tecnología en las aulas para transformar el aprendizaje; su contribución más conocida e influyente es la creación de los Estándares ISTE, un conjunto de marcos de referencia que definen las habilidades y competencias necesarias para que estudiantes, educadores y líderes educativos prosperen en la era digital (ISTE, 2016; ISTE, 2017; ISTE, 2018).

Y, considerando el diseño instruccional, se procedió al desarrollo de los tres recursos educativos, utilizando diversas tecnologías. Para el simulador de física diseñado para la visualización de vectores, se empleó la programación de la tarjeta ESP32, la cual se realizó utilizando el Entorno de Desarrollo Integrado Arduino y la librería ESP32Servo.h (Serrano-Pérez et al., 2025). Para el segundo recurso, las animaciones se desarrollaron utilizando A-Frame, para el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual y aumentada

en la web. Se utilizaron geometrías primitivas, como esferas, donas y cilindros, ya que se trata de geometrías preestablecidas que únicamente requieren la definición de sus propiedades, como color, longitud, ancho y/o radio, proceso que agiliza la generación de los elementos virtuales tridimensionales.

A través del componente “animation” se añadieron las características de movimiento. Las mismas están representadas mediante transiciones de posición, definiendo el tiempo en el que ocurren cada uno de los eventos, así como efectos de animación controlados mediante transiciones denominadas “easings”. Se utilizó la plataforma de Glitch para la edición, almacenamiento y despliegue de las animaciones debido a la ventaja que ofrece que se pueda realizar en línea y de forma gratuita, lo que es ideal para el desarrollo de conceptos y prototipos que están en las primeras etapas de desarrollo (Soberanes-Martín et al., 2025).

Además, para el tercer recurso se emplearon diversas tecnologías web que permitieron su estructuración y su operatividad. Específicamente, se implementaron los lenguajes HTML, JavaScript y CSS, los cuales aportaron los componentes esenciales para definir la arquitectura del entorno, incorporar funcionalidades interactivas y establecer su diseño visual, respectivamente.

La codificación del EVA se llevó a cabo utilizando un entorno de desarrollo integrado en Visual Studio Code, que ofrece condiciones óptimas para modificar y organizar el código fuente. La combinación de herramientas y lenguajes consistió en el desarrollo de una interfaz dinámica y de fácil acceso para los usuarios (Hernández Miramontes, 2025).

RESULTADOS

Los resultados se presentan en tres apartados, correspondientes a cada uno de los recursos educativos desarrollados. El primero es una simulación orientada a la enseñanza de la física, que permite la visualización bidimensional de vectores dentro de una hoja de cálculo, controlada mediante joysticks físicos y una tarjeta ESP32.

Este recurso permite la representación gráfica en tiempo real de las operaciones de suma y resta de vectores, a partir de la integración de una tarjeta ESP32, dos joysticks y un micro servomotor. La combinación de estos componentes dio lugar a un sistema de adquisición de datos el cual posibilita la representación dinámica e interactiva de operaciones algebraicas con vectores.

En particular, se presenta la visualización de la suma y resta de dos vectores en dos dimensiones mediante gráficos de Excel, los cuales se actualizan de manera dinámica en función de la manipulación física de los joysticks. El control de la magnitud y la dirección de cada vector se realiza a través de la medición de las componentes generadas por los dispositivos (Serrano-Pérez et al., 2025), como se muestra en la Figura 1.

En la Tabla 1 se detallan los objetivos, estrategias de aprendizaje, secuencia didáctica, materiales necesarios, aplicación de los conocimientos y métodos de evaluación. Estos elementos fundamentales contribuyen a garantizar un aprendizaje efectivo y significativo.

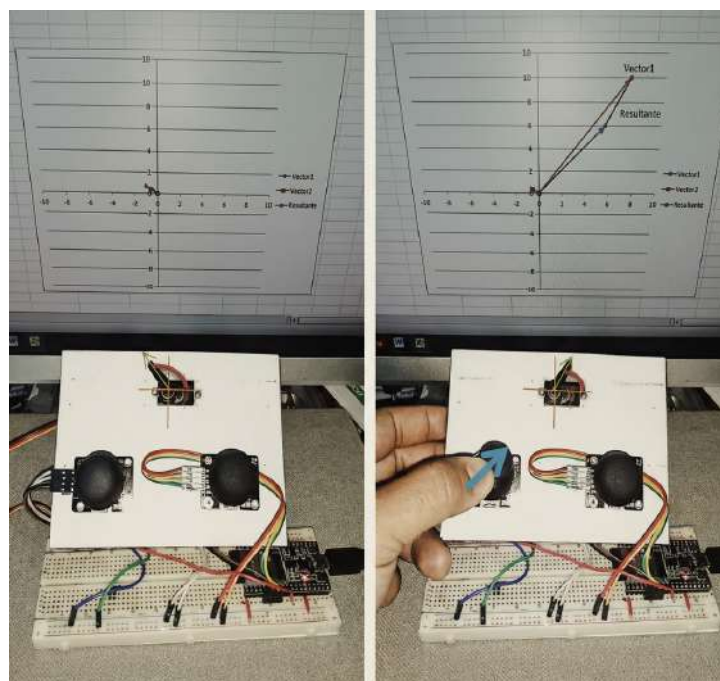


Figura 1. Representación del ángulo del vector resultante en una suma de vectores con un servomotor

Nota. Elaboración. Serrano-Pérez et al., 2025.

Tabla 1.

Diseño Instruccional del recurso educativo de operaciones con vectores para física

PROYECTO		FÍSICA CON VECTORES INTERACTIVOS				
Objetivo	Que los estudiantes comprendan y visualicen de manera tangible las operaciones con vectores en 2D (suma, resta, descomposición) mediante un simulador interactivo que conecta hardware (joysticks, ESP32) con software (hoja de cálculo), pasando de la abstracción matemática a la aplicación física.					
Estándares ISTE						
Pensador computacional: los estudiantes desarrollan estrategias para resolver problemas de vectores aprovechando métodos tecnológicos.						
Diseñador innovador: los estudiantes usan la tecnología en el proceso de diseño para crear soluciones nuevas y útiles.						
Constructor de conocimiento: los estudiantes usan herramientas digitales para construir conocimiento y producir artefactos creativos (el simulador).						
Nivel de inserción de la tecnología						
	Sustitución (-)	Argumento (-)	Modificación (-)	Redefinición (X)		
Modelo pedagógico	Construccionismo; Aprendizaje Significativo					
Estrategia de aprendizaje	Aprendizaje Basado en Proyectos; Aprendizaje Kinestésico; Simulación.					
¿Cómo se aplica?						
CIENCIA	TECNOLOGÍA	INGENIERÍA	ARTES	MATEMÁTICAS		
Principios de la estática y dinámica (fuerzas, resultantes).	Uso de ESP32, joysticks, hoja de cálculo y scripts de programación serial.	Diseño del sistema de adquisición de datos, calibración de sensores, protocolos de prueba.	Diseño de interfaz de usuario, visualización de datos, diagramación vectorial creativa. Creación de infografías sobre aplicaciones de vectores en el arte digital.	Cálculo trigonométrico, coordenadas cartesianas y operaciones algebraicas con vectores. Resolución de problemas con el método gráfico y analítico.		
Secuencia didáctica			Materiales			
Sesiones:						
1. Introducción a los vectores en la vida real (p.ej., navegación, fuerzas).						
2. Fundamentos de trigonometría para la descomposición vectorial.						
3. Montaje del hardware (conexión de joysticks y ESP32).						
4. Configuración de la hoja de cálculo para recibir y graficar datos.						
5. Práctica guiada: representar una fuerza y encontrar sus componentes.						
6. Proyecto final: resolver un problema de fuerzas en un plano inclinado usando el simulador.						
Participación Estudiantil Activa:						
<ul style="list-style-type: none"> • Roles rotativos: cada estudiante asume diferentes roles (programadora, física, diseñadora, matemática) • Retos colaborativos: competencias por equipos para resolver problemas vectoriales complejos • Proyecto final: diseñar un sistema de navegación para drones de rescate 						
Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> • Participación en el montaje y calibración. • Exactitud en los cálculos y representaciones. • Reporte del proyecto final que incluya el problema, el procedimiento y la solución 					

Nota. Elaboración propia basada en Flores-Nicolás & Martínez (2022).

Algunas de las actividades que se recomiendan para la incorporación de las mujeres en el uso de este recurso parten de presentarles referentes femeninos en estudios de caso de físicas como Marie Curie y Donna Strickland. También se pueden realizar invitaciones a ingenieras para compartir sus experiencias y a otras profesionistas que permitan presentarles cómo inciden en problemas relacionados con medicina, ambientalismo y diseño inclusivo. Finalmente, también se pueden asignar de manera intencional roles técnicos a mujeres; este tipo de recursos permite la participación y motivación de alumnas en el desarrollo, motivándolas en áreas como programación y electrónica.

El segundo recurso educativo apoya el aprendizaje de preposiciones de movimiento en inglés, integrando tecnolo-

gía de realidad aumentada en la web para mostrar animaciones que ejemplifican el uso de preposiciones en escenarios que combinan tanto elementos virtuales como reales.

La representación de las situaciones se ha llevado a cabo siguiendo recomendaciones obtenidas a través de inteligencia artificial generativa y de la consulta y revisión de literatura especializada en el tema de las preposiciones en el idioma inglés.

Como consecuencia de esta indagación, los recursos educativos desarrollados pueden utilizarse desde cualquier dispositivo móvil que cuente con acceso a internet y una cámara, por lo que es posible generar una gran cantidad de escenarios y situaciones que fomenten la práctica de las preposiciones de movimiento (Soberanes-Martín et al., 2025).

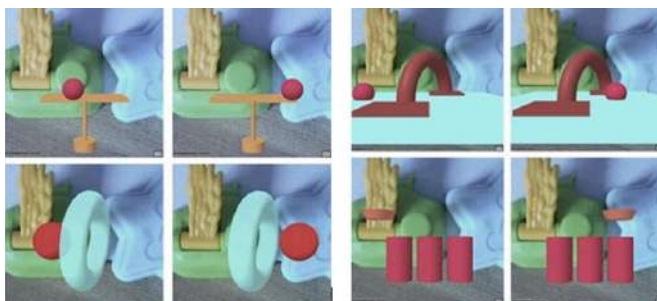


Figura 2. Representación de las preposiciones over, across, through y under, utilizando realidad aumentada

Nota. Elaboración. Soberanes et al., 2025.

En la Figura 2 se presentan las preposiciones over, across, through y under, utilizando realidad aumentada.

Como se muestra, en la Tabla 2 se detallan los objetivos, las estrategias de aprendizaje, la secuencia didáctica, los materiales necesarios y la aplicación de los conocimientos, así como los métodos de evaluación. Del mismo modo se incluyen los estándares ISTE. Como se ilustra en la propia tabla, en la intervención didáctica inicial se plantearon dos clases (Soberanes-Martín et al., 2025); pero para poder incorporar las actividades STEAM el experimento requirió ser ajustado modificándolo a 6 sesiones de trabajo lo cual permitió obtener los resultados deseados.

El estudio contó con la participación de 88 estudiantes y cinco docentes de las tres instituciones. Como se aplicó

Tabla 2. Diseño instruccional del recurso educativo de preposiciones en inglés

PROYECTO		INGLÉS EN MOVIMIENTO: PREPOSICIONES A TRAVÉS DE LA TECNOLOGÍA			
Objetivo	Que los estudiantes dominen el uso de preposiciones de movimiento en inglés (over, across, through, under) mediante una aplicación gamificada que utiliza narrativas inmersivas y retroalimentación inmediata, integrando el aprendizaje del idioma con competencias digitales.				
Estándares ISTE					
Alumno empoderado:	los estudiantes aprovechan la tecnología para demostrar competencias en sus objetivos de aprendizaje del idioma.				
Comunicador creativo:	los estudiantes se comunican con ideas creativas usando plataformas digitales.				
Colaborador global:	la herramienta puede usarse para colaborar en equipos, enriqueciendo el aprendizaje.				
Nivel de inserción de la tecnología					
	Sustitución (-)	Argumento (-)	Modificación (X)	Redefinición (-)	
Modelo pedagógico	Constructivismo; Aprendizaje por descubrimiento.				
Estrategia de aprendizaje	Gamificación; Aprendizaje Basado en Juegos; Narrativa Digital.				
¿Cómo se aplica?					
CIENCIA	TECNOLOGÍA	INGENIERÍA	ARTES	MATEMÁTICAS	
Comprensión de conceptos espaciales y de movimiento.	Desarrollo y uso de una aplicación web/móvil interactiva.	Diseño de la lógica de la aplicación y la base de datos de progreso.	Creación de la historia, personajes, escenarios y elementos visuales. Creación de cómics digitales con diálogos en inglés	Lógica de programación para la trayectoria de objetos y evaluación de respuestas.	
Secuencia didáctica			Materiales		
Sesiones:					
<ol style="list-style-type: none"> Introducción a las preposiciones de movimiento con ejemplos físicos en el aula. Exploración de la aplicación: conocer la narrativa y los personajes. Práctica guiada en la aplicación con los primeros niveles. Actividad colaborativa: en parejas, describir una ruta compleja dentro de la app. Crear tu propia misión: diseñar un nivel simple usando las preposiciones aprendidas. Demostración final de los niveles creados y evaluación entre pares. 			<ul style="list-style-type: none"> Dispositivos móviles/tabletas con la aplicación instalada Servidor para almacenamiento de progresos Guion de la narrativa principal y secundaria Storyboard de las animaciones Auriculares para experiencia inmersiva Kit de diseño para que estudiantes creen sus propios niveles Rúbricas de evaluación de creatividad Manual de usuario de la aplicación 		
Participación Estudiantil Activa:					
<ul style="list-style-type: none"> Codiseño: estudiantes proponen nuevos escenarios y personajes Grabación colaborativa: creación de audios con pronunciación correcta Festival de narrativas: presentación de historias creadas con la aplicación Evaluación entre pares: retroalimentación sobre creatividad y uso del idioma 					
Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> Progreso y logros dentro de la aplicación (insignias, niveles completados). Rúbrica para evaluar la complejidad y corrección de la misión creada. Participación en las actividades colaborativas de descripción 				

Nota. Elaboración propia basada en Flores-Nicolás & Martínez (2022).

a carreras del área de cómputo, en dos instituciones principalmente fueron hombres; en ingeniería en informática son más mujeres, por lo cual, de las tres instituciones, son 63 hombres (71.6 %) y 25 mujeres (28.4 %).

El análisis de usabilidad utilizando la escala SUS arrojó un promedio de 91,66 puntos en todas las instituciones evaluadas. Estos resultados no solo superan con creces el umbral de 68 puntos (considerado aceptable de usabilidad), sino que también superan el estándar de excelencia ($\geq 80,3$) establecido por Bangor et al. (2008). Entre los docentes, la Escala SUS arrojó un puntaje promedio de 89,74. Según los criterios de Bangor et al. (2008), este promedio supera con creces el umbral de usabilidad aceptable (≥ 68) y se encuentra dentro del rango "excelente" ($\geq 80,3$), lo que confirma que los recursos educativos son intuitivos, eficientes y satisfactorios (Soberanes-Martín et al., 2025). No existen diferencias significativas en la percepción de los estudiantes por género.

Entre las estrategias para fomentar la inclusión de las mujeres, se consideraron desde incorporar personajes diversos, incluyendo algunas protagonistas femeninas en roles de liderazgo científico, además de narrativas sobre colaboración, empatía y solución pacífica de conflictos en donde participan. También se deben crear grupos de trabajo mixtos con reglas de comunicación respetuosas, para que las alumnas se sientan parte del grupo. Finalmente, se puede hacer exhibición de proyectos destacados creados por mujeres.

Este tercer recurso educativo implementa un entorno virtual gamificado con realidad aumentada, aplicado a la enseñanza del álgebra lineal en educación superior. Especialmente dirigido al tema de sistemas de ecuaciones lineales, el diseño incorpora elementos lúdicos e interactivos que estimulan la motivación y el compromiso de los estudiantes, incorporando en algunas secciones la RA, como se muestra en la Figura 3.

La Tabla 3 sintetiza los elementos clave del diseño instruccional –desde los objetivos hasta los métodos de evaluación– que en conjunto facilitan un aprendizaje, tanto significativo como efectivo, para los estudiantes.

Cabe consignar que se tuvo una concentración alta entre los participantes de entre los 18 y 21 años (59 %), principalmente del género masculino (68 %). En cuanto al diseño y configuración, los usuarios valoraron de manera positiva tanto el aspecto visual como la experiencia de configuración de la cuenta, ambas con 94 % de satisfacción. La relación calidad-precio también fue percibida favorablemente, con un 91 % de respuestas positivas. Asimismo, las capacidades de colaboración con otros usuarios, aunque con ligeras reservas, alcanzaron un 91 % de valoración positiva, con solo un 6 % de insatisfacción. Con respecto a la disposición de recomendar el entorno, se observó una división equilibrada entre promotores (13), pasivos (9) y detractores (12), lo que resultó en un Net Promoter Score (NPS) de 3.

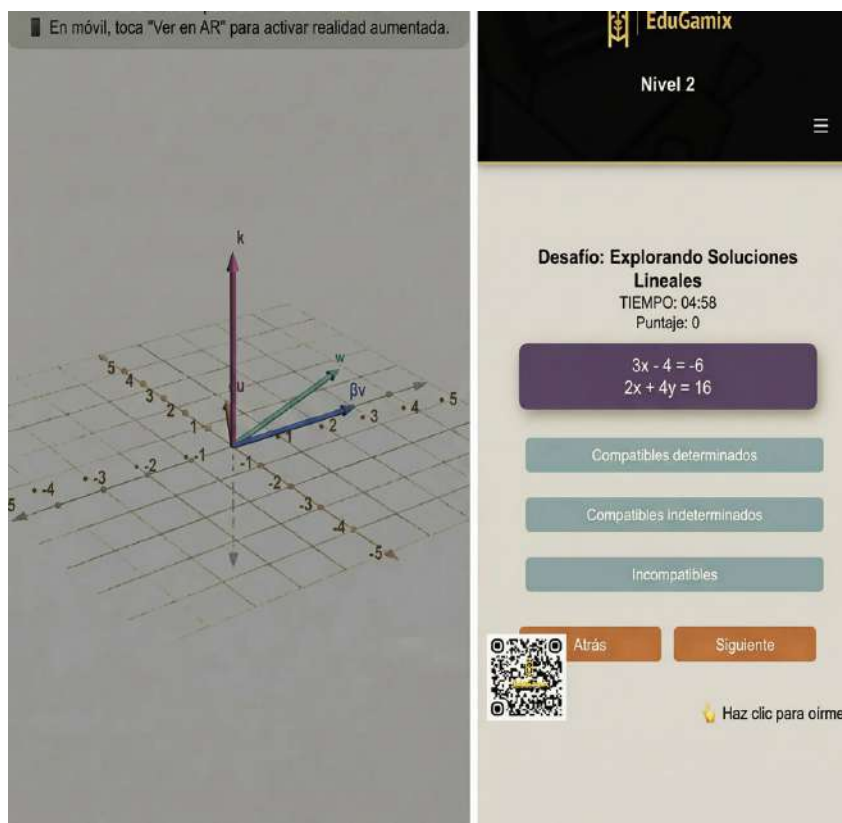


Figura 3. Pantalla de uso de RA en el entorno virtual

Tabla 3.
Diseño instruccional del recurso educativo de álgebra lineal

PROYECTO		ÁLGEBRA LINEAL EN 3D CON REALIDAD AUMENTADA				
Objetivo	Que los estudiantes dominen el uso de preposiciones de movimiento en inglés (over, across, through, under) mediante una aplicación gamificada que utiliza narrativas inmersivas y retroalimentación inmediata, integrando el aprendizaje del idioma con competencias digitales.					
Estándares ISTE						
Pensador computacional: los estudiantes emplean RA para comprender y solucionar problemas matemáticos presentados.						
Constructor de conocimiento: los estudiantes usan herramientas digitales (RA) para construir conocimiento.						
Diseñador innovador: los estudiantes identifican y resuelven problemas creando soluciones imaginativas mediante modelos 3D.						
Nivel de inserción de la tecnología						
	Sustitución (-)	Argumento (-)	Modificación (-)	Redefinición (X)		
Modelo pedagógico	Construccionismo; Aprendizaje Experiencial.					
Estrategia de aprendizaje	Aprendizaje Basado en Proyectos; Simulación; Aprendizaje Visual.					
¿Cómo se aplica?						
CIENCIA	TECNOLOGÍA	INGENIERÍA	ARTES	MATEMÁTICAS		
Visualización de modelos 3D y sus transformaciones en el espacio.	Desarrollo y uso de una aplicación de Realidad Aumentada.	Lógica de programación para renderizar y manipular los modelos 3D de forma estable.	Diseño de los modelos 3D, interfaces de usuario y la experiencia visual inmersiva.	Aplicación directa de transformaciones lineales, matrices, espacios vectoriales y álgebra de Boole.		
Secuencia didáctica			Materiales			
Sesiones:						
1. Introducción a las transformaciones lineales en 2D (ejemplos en papel).						
2. Primer contacto con la herramienta de RA: visualizar un cubo en el espacio.						
3. Aplicar transformaciones simples (escalado, rotación) y observar la matriz asociada.						
4. Práctica: dada una matriz, predecir y luego verificar la transformación en el modelo 3D.						
5. Proyecto: diseñar una secuencia de transformaciones para crear una "animación" simple como hacer girar y deformar un objeto de manera específica.						
6. Presentación de los proyectos de animación y explicación de las matrices utilizadas.						
Participación Estudiantil Activa:						
<ul style="list-style-type: none"> Estaciones rotativas: grupos pequeños experimentan con diferentes aplicaciones de RA. Retos progresivos: desde transformaciones básicas hasta animaciones complejas. Exposición interactiva: demostración de proyectos a la comunidad educativa. Documentación creativa: creación de tutoriales en video explicando los conceptos 						
Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> Cuaderno de trabajo con predicciones y observaciones de las prácticas. Proyecto final de animación con transformaciones (evaluado con rúbrica por claridad y complejidad). Examen teórico-práctico, donde se relacione una transformación con su representación matricial. 					

Nota. Elaboración propia basada en Flores-Nicolás & Martínez (2022).

En relación con la participación de las mujeres en el proyecto, se constató que se puede hacer uso de matrices en epidemiología, genética y ciencias sociales. Además, de revisar estudios de matemáticas de Katherine Johnson y Maryam Mirzakhani, enfatizando la participación de mujeres en esta área. También se puede resaltar la participación de la autora en el desarrollo de entornos que hacen uso de matemáticas, programación y electrónica.

CONCLUSIONES

La evaluación preliminar demuestra alta aceptación, sugiriendo que estos materiales son percibidos como atractivos y pertinentes por estudiantes que se encuentra estrecha-

mente relacionados con los diversos dispositivos computacionales.

El proyecto evidencia cómo la tecnología educativa puede ser un vehículo eficaz para fomentar la inclusión y la equidad de género en STEAM; además, se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relativos a educación de calidad, igualdad de género, industria e innovación, y reducción de las desigualdades.

El desarrollo de los tres recursos educativos (simulador de vectores con ESP32, aplicación para aprendizaje de inglés con gamificación y herramienta de realidad aumentada para álgebra lineal) evidencia cómo la tecnología educativa bien diseñada trasciende su función instrumental puede incidir en la inclusión y equidad.

La importancia de este proyecto reside en su capacidad para redefinir experiencias de aprendizaje mediante la integración de hardware accesible, software especializado y principios pedagógicos sólidos. Además, de fomentar la participación femenina a través de diseños instruccionales que priorizan contextos significativos, narrativas inclusivas y modelos de rol femeninos en STEAM. Pero sobre todo se destaca por su capacidad en la búsqueda de contribuciones positivas en entornos educativos donde las mujeres se sientan reconocidas, capaces y motivadas en estas áreas.

La efectividad de estos recursos radica en su capacidad para conectar con los intereses y competencias digitales de las nuevas generaciones, mientras se aborda una de las brechas más persistentes en educación: la subrepresentación femenina en STEAM. asimismo, el diseño intencionado de actividades que desarrollan competencias técnicas simultáneamente con la autoeficacia y el sentido de pertenencia, establece un precedente valioso para futuras iniciativas educativas.

Es relevante la consideración de tecnologías como las incorporadas en los tres recursos propuestos. Las mismas aportan recursos que resultan más atractivos e innovadores para las nuevas generaciones de estudiantes que se encuentran estrechamente relacionados con los diversos dispositivos computacionales.

Los hallazgos de este proyecto sugieren que la integración estratégica de tecnologías emergentes en educación superior, con un enfoque explícito en equidad de género, no solo es deseable sino esencial para construir sistemas educativos más inclusivos y relevantes. En función de ello se considera oportuno que futuras investigaciones exploren el impacto a largo plazo de estos recursos en las trayectorias académicas y profesionales de las mujeres en STEAM, así como su escalabilidad en diversos contextos educativos.

Una de las principales limitaciones del estudio radica en el tamaño y características de la muestra. La investigación se realizó en un contexto institucional específico y acotado a un número de participantes. Aunque los resultados obte-

nidos permitieron identificar tendencias relevantes en el uso y aceptación de los recursos educativos desarrollados. Ello demuestra que estos no pueden generalizarse de manera directa a otros niveles educativos, áreas disciplinares o contextos socioculturales distintos. Por ello, futuras investigaciones podrían ampliar la población de estudio, incorporar muestras más diversas y considerar diseños comparativos o cuasi experimentales que permitan evaluar con mayor rigor el impacto del recurso en distintos escenarios educativos y modalidades de enseñanza.

Además, ha de tenerse en cuenta que el estudio se centró principalmente en la evaluación de la usabilidad, la experiencia del usuario y la percepción de los participantes respecto al recurso educativo, pero faltó profundizar de manera longitudinal en los efectos del uso extendido sobre el rendimiento académico, sobre el desarrollo de competencias específicas o sobre la transferencia del aprendizaje. Esto abre la posibilidad de poder desarrollar investigaciones futuras que integren mediciones a largo plazo, indicadores de desempeño objetivo y análisis cualitativos más profundos, así como la incorporación de variables adicionales, como estilos de aprendizaje, accesibilidad, inclusión o el uso de tecnologías emergentes, con el fin de enriquecer la comprensión del impacto pedagógico de este tipo de recursos tecnológicos.

La evaluación preliminar demuestra alta aceptación, lo que sugiere que estos materiales son percibidos como atractivos y pertinentes por estudiantes que se encuentran estrechamente relacionados con los diversos dispositivos computacionales.

El proyecto realizado, y los resultados alcanzados, evidencian cómo la tecnología educativa puede ser un vehículo eficaz para fomentar la inclusión y la equidad de género en STEAM; además, que evidencia las posibilidades de alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), relativos a educación de calidad, igualdad de género, industria e innovación y reducción de las desigualdades.

REFERENCIAS

- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J.T. (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574-594. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>
- Brooke, J. (1996). SUS - A quick and dirty usability scale. En P. Jordan, B. Thomas, I. McLelland y B. Weerdmeester (Eds.). *Usability evaluation in industry* (pp. 189-194). Taylor & Francis. <https://hell.meiert.org/core/pdf/sus.pdf>
- Flores Nicolás, M. (2019). *Diseño de un Modelo para el Desarrollo de Aplicaciones Graduales Multidisciplinarias en Dispositivos Móviles* (Design of a Model for the Development of Gradual Multidisciplinary Applications on Mobile Devices) [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/105219>
- Flores-Nicolás, M., & Martínez, M. (2022). The graded multidisciplinary model: Fostering instructional design for activity development in STEM/STEAM education. En 2022 IEEE Mexican International Conference on Computer Science (ENC) (pp. 1-7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ENC56672.2022.9882917>
- Hernández Miramontes, B.V. (2025). *Desarrollo de un entorno virtual de aprendizaje para educación superior con enfoque de gamificación sobre álgebra lineal* (Development of a virtual learning environment for higher education with a gamification approach to linear algebra) [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/143795>

- Idrizi, E., Filiposka, S., & Trajkovikj, V. (2023). Gender impact on STEM online learning: A correlational study of gender, personality traits and learning styles in relation to different online teaching modalities. *Multimedia Tools and Applications*, 82(19), 30201-30219. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-14908-x>
- International Society for Technology in Education. (2016). *ISTE standards for students*. <https://www.iste.org/standards/iste-standards-for-students>
- International Society for Technology in Education. (2017). *ISTE standards for educators*. <https://iste.org/standards/educators>
- International Society for Technology in Education. (2018). *ISTE standards for education leaders*. <https://www.iste.org/standards/iste-standards-for-education-leaders>
- Jarillo Aguilar, I.A. (2023). Laboratorios de Fabricación Digital (FabLab) y su implementación en educación básica. Una revisión sistemática [Digital Fabrication Laboratories (FabLab) and their implementation in basic education. A systematic review]. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 14(27). <https://doi.org/10.23913/ride.v14i27.1560>
- Lorenzo, C. & Lorenzo, E. (2021). Connecting educators, researchers, volunteers and students through open laboratories for co-design and digital fabrication. En *EDULEARN21 Proceedings* (pp. 12473-12477). IATED. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2021.2637>
- Mayer, R.E. (2021). *Multimedia learning* (3a. ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316941355>
- Mullens, A.M., & Hoffman, B. (2023). The affordability solution: A systematic review of open educational resources. *Educational Psychology Review*, 35(72). <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09793-7>
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things* (Ed. rev. y ampliada). Basic Books. https://d51n38p3754yc.cloudfront.net/content_object_shared_files/294b324ed17b4cba905c4c394fd7dd6206131e90/The-Design-of-Everyday-Things-Revised-and-Expanded-Edition.pdf?1495759279
- Pocinho, R., Carrana, P., Margarido, C., Santos, R., Milhano, S., Trindade, B., & Santos, G. (2020). The use of digital educational resources in the process of teaching and learning in pandemic by COVID-19. En *TEEM'20: Eighth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturalism* (pp. 810-816). ACM. <https://doi.org/10.1145/3434780.3436589>
- Schwartz, H.L., Ahmed, F., Leschitz, J.T., Uzicanin, A., & Uscher-Pines, L. (2020). *Opportunities and challenges in using online learning to maintain continuity of instruction in K-12 schools in emergencies*. [Working Paper]. RAND Corporation. https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/working_papers/WRA200/WRA235-1/RAND_WRA235-1.pdf
- Serrano-Pérez, E., & Soberanes-Martin, A. (2024). Affordable digital electronics for building a hybrid dynamic marker structure with infrared illumination light patterns. *International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems*, 13(1), 20-24. <https://doi.org/10.11591/ijres.v13.i1.pp20-24>
- Serrano-Pérez, E., Soberanes-Martin, A., & Castro-Yáñez, A.L. (2024). Adaptando el juego de laberinto con asistencia de inteligencia artificial como un apoyo en el desarrollo de la motricidad fina (Adapting the maze game with artificial intelligence assistance as support for the development of fine motor skills). *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, (37), e15. <https://doi.org/10.24215/18509959.37.e15>
- Serrano-Pérez, E., Soberanes-Martin, A., Castro-San Agustín, J.R., & Ávila-Aoki, M. (2024). Diseño e implementación de un dispositivo háptico tipo pantalla térmica para aplicaciones de realidad virtual con fines educativos y de entrenamiento (Design and implementation of a haptic thermal display device for virtual reality applications for education and in training purposes). *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 12(68), 15-25. https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/realidad_virtual_uaem_2_riiit_may-jun_2024.pdf
- Serrano-Pérez, E., Soberanes-Martin, A. & Hernández-Hernández, M. (2025). Recurso educativo para la visualización dinámica e interactiva de operaciones con vectores en la asignatura de física, controlados mediante una tarjeta ESP32 (Educational resource for the dynamic and interactive visualization of vector operations in the physics course, controlled by an ESP32 board). *RIIIT, Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 13(75), 39-51. https://riiit.com.mx/apps/site/idem.php?module=Catalog&action=ViewItem&id=2&item_id=85684&id=
- Serrano Pérez, E., Soberanes Martín, A., & Soberanes Martín, F. (2023). Recurso educativo interactivo con la hoja de cálculo y un microcontrolador aplicado a la inteligencia de negocios. En J. L. García Cué, C. Cerón Garnica, M. Contreras González, & D. Vilariño Ayala (Eds.), *Herramientas y recursos de apoyo pedagógico en la educación* [Interactive educational resource using a spreadsheet and a microcontroller applied to business intelligence. In J. L. García Cué, C. Cerón Garnica, M. Contreras González, & D. Vilariño Ayala (Eds.), *Tools and resources for pedagogical support in education*] (pp. 1-12). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://www.cs.buap.mx/publicaciones/pub2023HerraRecuApoyo.php>
- Soberanes-Martin, A., Castillo-Mendoza, J.L., & Serrano-Pérez, E. (2025). Development of Educational Resources Aimed at Learning Propositions of Movement in the English Language Using Generative Artificial Intelligence and AI: En P. Ilic (Ed.), *Strengthening Language Education Through ICT Integration* (pp. 283-316). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0801-2.ch010>
- Soomro, S.A., Casakin, H., & Georgiev, G.V. (2021). Sustainable design and prototyping using digital fabrication tools for education. *Sustainability*, 13(3), 1196. <https://doi.org/10.3390/su13031196>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2019). *Descifrar el código: la educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas* (STEM) [Cracking the Code: Girls' and Women's Education in Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM)]. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366649_spa

Carbón activado de bagazo de caña como soporte de catalizadores para la obtención de biodiésel

María Guadalupe Hernández Cruz; Alida Elizabeth Cruz Pérez; José Armando Olmos López; Ma. Guadalupe Rivera Ruedas; Lorena González Díaz

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la actividad del carbón activado como soporte de catalizadores para la producción de biodiesel. Se sintetizaron carbones activados a partir del bagazo de caña, se activaron con HNO_3 y se calcinaron a $550\text{ }^\circ\text{C}$ y $650\text{ }^\circ\text{C}$; posteriormente se impregnaron con un contenido de 15 y 3 % p/p de Mo y Ni, respectivamente. Los materiales sintetizados se caracterizaron mediante fisisorción de N_2 , difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido. Asimismo, la evaluación catalítica se realizó en la transesterificación del aceite de palma en presencia de metanol a $60\text{ }^\circ\text{C}$ con diferentes tiempos de reacción. Luego, las muestras de biodiesel obtenido se caracterizaron fisicoquímicamente. Los resultados mostraron una baja dispersión de los metales en el soporte, lo que originó pocos sitios activos catalíticos, debido principalmente a la baja área superficial de los carbones activados, lo cual disminuyó la actividad de los materiales y condujo a un bajo rendimiento, que fue significativamente menor que los reportados en la literatura. Sin embargo, este puede mejorar al aumentar el contenido de catalizador y mediante la optimización de las condiciones de reacción, con lo que también se podría mejorar considerablemente la calidad del biodiesel obtenido.

Palabras clave: carbón activado, bagazo de caña, biodiesel, catalizadores.

Cómo citar: Hernández, M., Cruz, A., Olmos, J., Rivera, M., González, L. (2026). Carbón activado de bagazo de caña como soporte de catalizadores para la obtención de biodiésel. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto12>

Sugarcane Bagasse-Derived Activated Carbon as a Catalyst Support for Biodiesel Production

ABSTRACT

In this work, the activity of activated carbon as a catalyst support for biodiesel production was evaluated. Activated carbons were synthesized from sugarcane bagasse, activated with HNO_3 , and calcined at 550 °C and 650 °C; subsequently, they were impregnated with 15 and 3 wt % of Mo and Ni, respectively. The synthesized materials were characterized by N_2 physisorption, X-ray diffraction, and scanning electron microscopy. The catalytic evaluation was carried out in the transesterification of palm oil in the presence of methanol at 60 °C with different reaction times; subsequently, the obtained biodiesel samples were physicochemically characterized. The results showed low metal dispersion on the support, which led to few active catalytic sites, mainly due to the low surface area of the activated carbons. This decreased the activity of the materials and resulted in low yield, which was significantly lower than those reported in the literature. However, this can be improved by increasing the catalyst content and optimizing the reaction conditions, which could also considerably enhance the quality of the obtained biodiesel.

Keywords: activated carbon, sugarcane bagasse, biodiesel, catalysts.

INTRODUCCIÓN

El reemplazo de combustibles fósiles es un tema de suma importancia a nivel global, dadas las actuales repercusiones ambientales, económicas y políticas que se presentan como consecuencias de su uso desmedido durante décadas (Catalán, 2021). Por lo que, con la finalidad de reducir la dependencia del petróleo y sus derivados, se ha optado por la generación de energías renovables, entre ellas, la utilización de combustibles sostenibles como el biodiesel.

La producción de biodiesel se produce mediante un proceso de transesterificación, que es la reacción de un aceite con un alcohol (metanol o etanol) (Baskar et al., 2018), en presencia o no de un catalizador. En este proceso, los triglicéridos de la materia prima se transforman en ésteres alquilo y glicerol como subproducto (Bardhan et al., 2021; Vilas Bôas & Mendes, 2022) y, por lo general, se requiere de un catalizador heterogéneo que permita con facilidad la separación del catalizador del biodiesel y la eliminación de desechos (Maleki et al., 2022; Nasreen et al., 2018). Por su bajo precio, los metales como cobalto, molibdeno, hierro y níquel pueden ser usados como fase activa en catalizadores alternativos (Hongloi et al., 2019), aunque también pueden usarse precursores de precio más elevado como es el caso del tungsteno, platino, paladio y rutenio (Kumar et al., 2019). Dado que la combinación de Mo o W y Co o Ni en los catalizadores aumenta la actividad catalítica, se han hecho diversas investigaciones para la obtención de biodiesel usando fases activas como NiW, NiMo, NiMoW con diversos soportes, como Zr-SBA-15, alúmina (Al_2O_3), así como el carbón

activado, atractivo por su superficie inerte y por el diámetro y distribución de sus poros (Balboa Palomino, 2018; Iwanow et al., 2020; Vázquez-Garrido et al., 2021).

Las materias primas para la producción de biodiesel pueden ser fuentes vegetales comestibles, como los aceites de soja, cacahuate, girasol, aceituna, linaza, palma, coco, maní, salvado de arroz, o fuentes vegetales no comestibles, como los aceites de colza, jatropha, jojoba, tabaco, ricino, de semilla de albaricoque, aceite de pescado, la moringa olifera, el dátil del desierto, aceite de cocina usado, en el caso de biodiesel de primera generación (Alalwan et al., 2019; Elgharbawy et al., 2021; Rizwanul Fattah et al., 2020; Singh et al., 2021). Además de metanol, también pueden ser usados etanol, butanol, isopropanol y otros alcoholes, aunque generalmente se usan los dos primeros debido a su bajo costo.

El biodiesel de segunda generación puede usarse como materia prima para cultivos energéticos, al igual que el de primera generación, restos agrícolas, residuos de madera y grasas animales. El principal problema con este tipo de biodiesel es que aún no se han encontrado tecnologías para el aprovechamiento de los residuos de su producción. El biodiesel de tercera generación se genera con base en microalgas autótrofas y heterótrofas, con un rendimiento diferente dependiendo de la naturaleza de la microalga elegida (Alalwan et al., 2019). Las características fisicoquímicas del biodiesel son determinadas, principalmente, por los ésteres metílicos de ácidos grasos con respecto a su proporción, longitud de cadena de carbonos y grado de

insaturación (Freire Ordóñez & Medrano Barboza, 2019).

El aceite de palma se deriva de las palmas de aceite, científicamente conocidas como *Elaeis guineensis* (Mahlia et al., 2019). En México, se cultiva principalmente en la región del sureste y se prevé que para el 2030 se alcance la producción de 1.14 millones de toneladas por año (SAGARPA, 2017). Este aceite posee una gran resistencia a la oxidación y soporta la exposición a altas temperaturas durante un tiempo considerablemente largo. Contiene los ácidos: palmítico, oleico monoinsaturado, linoleico poliinsaturado y esteárico, así como fracciones de otros ácidos grasos. Este es usado en diversos productos industriales como son mantequillas, mantecas, panificación, helados, detergentes, pinturas, cosméticos, lubricantes, biodiesel, etc. (Gesteiro et al., 2018).

Se puede definir al carbón activado (CA) como un carbón caracterizado por su capacidad de adsorción por sus pequeños poros. Puede ser obtenido de diversas fuentes, como los residuos de agricultura: paja, cáscara de arroz, bagazo, bambú, residuos de algodón, cáscaras de nuez, huesos de fruta, cáscaras de coco, residuos de café, mazorcas de maíz, residuos de palma aceitera, entre otros. Es una opción conveniente como soporte de catalizadores metálicos por su superficie inerte, en especial en condiciones ácidas y básicas elevadas; su distribución de tamaño de poro (micro y mesoporos) y las propiedades químicas en su superficie pueden ajustarse dependiendo de la aplicación a la que se destine. Además, presenta resistencia a la formación de coque, que es uno de los principales agentes que desactivan a los catalizadores (Iwanow et al., 2020; Robles et al., 2006).

Asimismo, existen diferentes trabajos sobre el uso del carbón activado como soporte de catalizadores para la producción de biodiesel; uno de ellos es el realizado por Ruangdomsakul et al., en el que obtuvieron carbón activado a partir de madera de plomo por horno Iwasaki. Los carbones activados obtenidos se impregnaron Ni_2P ; los autores observaron altos rendimientos en la producción de biodiesel por hidrodeseoxigenación (2021).

Por otro lado, Tapia y colaboradores usaron catalizadores NiMo soportados en carbón activado comercial para la producción de biodiesel a través de hidrotratamiento de aceite de *jatropha*; dicho catalizador mostró un rendimiento similar al de los catalizadores soportados en alúmina en la producción de biodiesel por hidrodeseoxigenación (Tapia et al., 2017). También se han utilizado CA provenientes de cáscaras de cacao (Younis Al-Ani et al., 2026), de coco (Babatunde et al., 2025), de banana (Saikia et al., 2024), además de semillas de aguacate (Akream et al., 2024), e incluso hojas de guayaba (Das et al., 2024) y de palma (Younis Al-Ani et al., 2026). Los residuos de café (Tian et al., 2021) y el bagazo de malta (Ali et al., 2024) también son aprovechados para su producción. Estos CA se han empleado por sí solos como catalizadores (Babatunde et al., 2025), funcionalizados (Ali et al., 2024; Das et al., 2024; Naji & Tye, 2022; Tian et al., 2021; Younis Al-Ani et al., 2026) o bien con alguna fase activa soportada como el K_2CO_3 o el ZrO_2 (Akream et al., 2024; Younis Al-Ani et al., 2026).

El bagazo de caña es un residuo fibroso que se genera en grandes cantidades en la industria azucarera; se obtienen, aproximadamente, 136 kg por cada tonelada de caña que es procesada y, considerando que en México se procesan al año 56 300 000 toneladas de caña (Solís-Fuentes et al., 2019), su reutilización en diferentes procesos resulta prometedora. Existen trabajos que reportan el uso del CA obtenido a partir del bagazo de caña en remoción de fármacos (Abo El Naga et al., 2019), compuestos aromáticos (Greish et al., 2021), metales pesados (Nguyen et al., 2025) y nitratos (Khademi et al., 2018) de medios acuosos; en la adsorción de H_2S (Greish et al., 2022) y en la clarificación de algunos licores (Solís-Fuentes et al., 2019). Acá se propone su uso como soporte para catalizador para la producción de biodiesel por medio de la transesterificación del aceite de palma.

El objetivo de este trabajo es, en una primera aproximación, evaluar el uso del carbón activado de bagazo de caña como soporte de catalizadores para la obtención de biodiesel a partir del aceite de palma, con la finalidad de contribuir al desarrollo sostenible, dando valor agregado a los desechos de la industria azucarera y también aprovechar la producción del aceite de palma del país. De esta manera, se podría beneficiar directamente a la fuerza laboral de estos sectores, del cual el 20 % está constituido por mujeres (Instituto Nacional de las Mujeres, 2024). De igual modo, a través del desarrollo de proyectos de investigación, se busca fomentar las vocaciones científicas STEM en las estudiantes y fortalecer las líneas de investigación de las profesoras-investigadoras que integran el grupo de investigación.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El soporte empleado fue carbón activado proveniente de bagazo de caña, este se sintetizó por el método de activación química con HNO_3 3.5 M durante 24 horas y posteriormente por pirólisis a 550 y 650 °C, los carbones activados se nombraron CA1 y CA2, respectivamente.

Los carbones activados se impregnaron con soluciones acuosas de heptamolibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{41}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (J.T. Baker, 81 %) y nitrato de níquel [$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$] (Sigma-Aldrich, ≥ 97 %). Estos se prepararon por el método de coimpregnación húmeda con un contenido de 15 % p/p de Mo y tomando en cuenta una relación molar Ni/(Ni+Mo)=0.3, aproximadamente el 3 % p/p. Los sólidos obtenidos se secaron a 120 °C durante 12 horas y se calcinaron a 400 °C durante 4 horas. En la Tabla 1 se muestra la nomenclatura que se empleó para identificar a los catalizadores sintetizados.

La caracterización fisicoquímica de los materiales se realizó por medio de las técnicas de difracción de rayos X en un equipo Bruker modelo D8 Advance; fisiorción de N_2 en un equipo AUTOSORB-iQ-XR-2 y microscopía electrónica de barrido en un equipo FEI Quanta 250 FEG.

La reacción se llevó a cabo con las siguientes condiciones: se emplearon metanol (Meyer, ≥ 99.8 %) y aceite de palma crudo (Abreiko, grado cosmético) en la mezcla de reacción

Tabla 1.

Nomenclatura de los materiales sintetizados

CATALIZADOR	Contenido de Mo% p/p	Contenido de Ni% p/p
Mo/CA1	15	-
Mo/CA2	15	-
NiMo/CA1	15	3
NiMo/CA2	15	3

con una relación 6:1 y el catalizador en una proporción de 0.5 % p/p con respecto a la cantidad de aceite. La mezcla se mantuvo a reflujo a 60 °C, 1 atm de presión, con tiempos de dos, tres y cuatro horas de reacción.

Posterior a la reacción, el producto se mantuvo en reposo durante 24 horas para la separación completa de las fases de biodiesel y glicerina. Subsecuentemente, el biodiesel obtenido se analizó por medio de cromatografía de gases.

La caracterización fisicoquímica del biodiesel se llevó a cabo mediante la evaluación de su densidad, viscosidad y poder calorífico. La densidad del biodiesel se midió en un densímetro Anton Paar DMA 4500 M; lasimismo, la medición de la viscosidad se hizo con un viscosímetro Anton Paar SVM 4001 y el poder calorífico del biodiesel se midió con el equipo de calorimetría marca KL, modelo LRY-900-1.

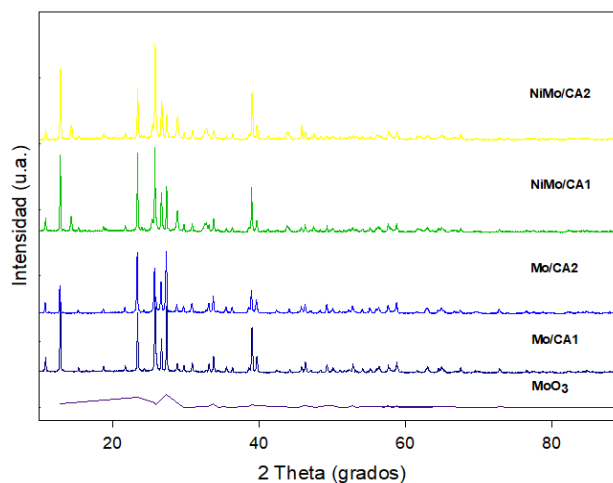
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Difracción de rayos X

La Figura 1 muestra los difractogramas de los catalizadores sintetizados; en todos se observan señales en $2\theta = 27.72^\circ$, 33.68° , 38.88° y 45.76° , y dos picos asimétricos en $2\theta = 13.58^\circ$ y 26.46° , los cuales corresponden a la presencia de carbono en forma de grafito (ICSD 75-0444) (Adinaveen et al., 2013). Esto demuestra que la estructura del soporte se mantiene durante el proceso de síntesis de los catalizadores.

También se observan señales en $2\theta = 23.20^\circ$, 27.15° , 45.76° y 57.58° , que se asocian con la presencia de MoO_3 en fase ortorrómbica (ICSD 01-089-7112); por otro lado, los picos en $2\theta = 26^\circ$ y 44° (002) y (100), respectivamente, indicaron la presencia de $\text{MoO}_3/\text{NiMoO}_4$; este no es un buen promotor y podría disminuir la actividad catalítica (Nath Prajapati & Verma, 2018).

Además se observa que los picos para cada uno de los cuatro catalizadores son fuertes y poco anchos en su mayoría, lo que indica un tamaño de partícula grande y una baja dispersión de los metales (Kohli et al., 2020). Esto puede conducir a un bloqueo significativo de los poros del soporte del carbón activado (Foroozandeh et al., 2023), de modo que la dispersión de los metales (Ni y Mo) y, por ende, la actividad catalítica se ven afectadas de modo negativo.

**Figura 1.**

Difractogramas de los catalizadores sintetizado.

Fisiorción de N_2

En la Tabla 2, con fines comparativos, se muestran las propiedades texturales de los carbones activados sintetizados en este trabajo, así como el de un carbón activado de bagazo de caña reportado en la literatura (Somyanonthanakun et al., 2023). Se puede observar que el área superficial de los carbones activados usados en este trabajo es inferior al área superficial del carbón activado reportado (Somyanonthanakun et al., 2023).

Tabla 2.

Propiedades texturales de los carbones activados CA1 y CA2 y del reportado en la literatura

SÓLIDO	ABET (m^2/g)	DIÁMETRO DE PORO (nm)	Volumen de poro (cm^3/g)
CA1	1.9×10^2	5.6	2.6×10^{-2}
CA2	3.0×10^2	4.7	7.4×10^{-2}
CA	$5.1 \times 10^2 - 6.7 \times 10^2$	4.2-5.4	$5.4 \times 10^{-2} - 9.2 \times 10^{-2}$

Nota. Elaboración de Somyanonthanakun et al., 2023.

Esto tiene su causa en las diferencias en la materia prima y al método de elaboración; sin embargo, los valores que se han obtenido en los carbones CA1 y CA2 indican que estos son adecuados para el funcionamiento como soportes de catalizadores heterogéneos en la producción de biodiesel por transesterificación de aceites. Por otro lado, de acuerdo con el diámetro de poro, los materiales están compuestos en su mayoría por mesoporos.

Las Figuras 2 y 3 muestran gráficos de las isotermas generadas por la fisiorción de N_2 del CA1 y CA2, respectivamente, en las que se muestran los volúmenes y presiones relativas en las que ocurrió la adsorción y desorción del nitrógeno en la superficie de los materiales.

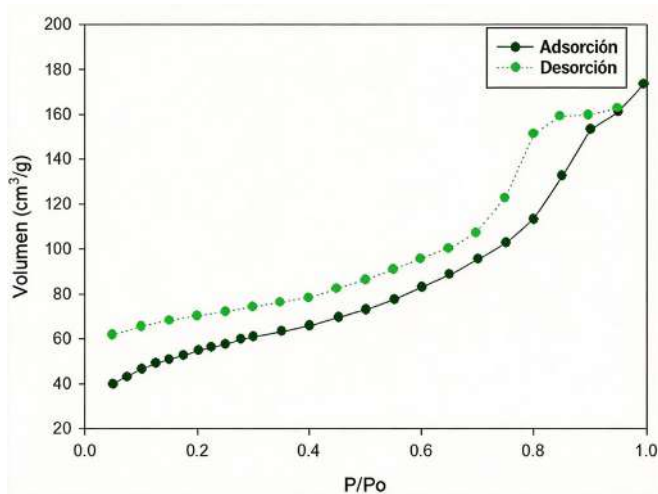


Figura 2. Isotherma de adsorción-desorción de N₂ del carbón activado CA1

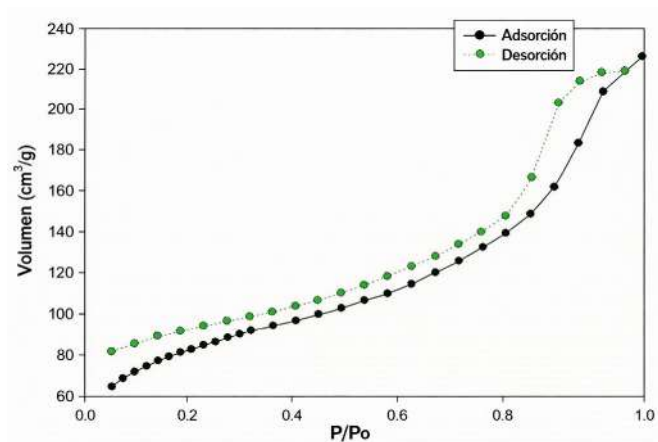


Figura 3. Isotherma de adsorción-desorción de N₂ del carbón activado CA2

En ambas se puede observar que la curva no cierra al final de la desorción, como sería idealmente; esto, probablemente, se debe a la presencia de una cantidad considerable de microporos con diámetros menores de 2 nm, lo cual dificulta su medición en ciertos equipos de fisisorción de N₂.

Asimismo, es posible advertir que, de acuerdo con la clasificación de las isothermas e histéresis dada por la IUPAC, ambas isothermas son tipo IV, con formas similares, característica de sólidos mesoporosos (cuyos diámetros de poro se encuentran entre 2 y 50 nm). El tipo de histéresis que presentan es del tipo H1, lo que indica una distribución de poros muy estrechos, probablemente espacios entre placas o partículas esferoidales con un tamaño y distribución aproximadamente uniformes (Cabello Mendoza, 2019). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Somyanonthanakun et al. (2023) para el carbón activado obtenido del bagazo de caña.

Microscopía electrónica de barrido

En la Figura 4 se muestran las micrografías electrónicas de barrido de los catalizadores sintetizados. En general, los catalizadores mostraron morfologías similares, lo cual indica que los carbones activados son estables durante el proceso de la síntesis de los catalizadores, ya que no se modificaron significativamente sus características morfológicas.

La morfología de los CA se caracteriza por la presencia de fibras unidas por la acción de la hemicelulosa junto a la lignina (Adinaveen et al., 2013), que se observan en las micrografías; también se observan fibras alargadas, características del carbón activado de bagazo de caña (Adinaveen et al., 2013; Gonçalves et al., 2016).

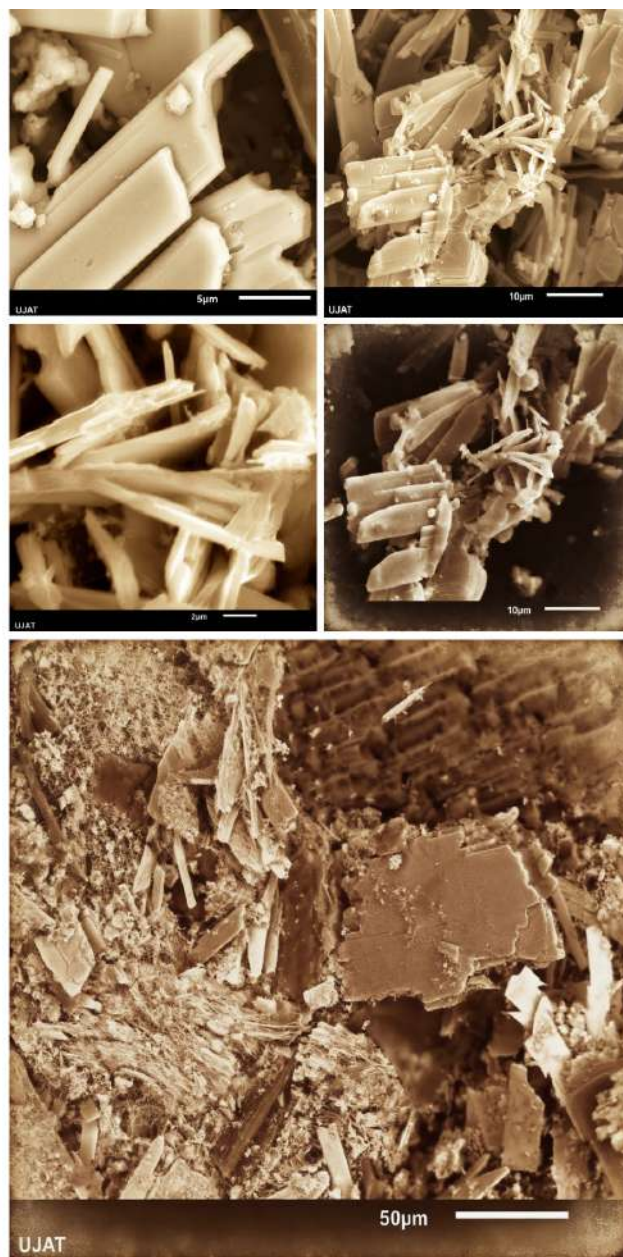


Figura 4. IMicrografías MEB representativas de los catalizadores sintetizados.

Asimismo, se visualiza una disposición amorfa de placas de carbono con espacios entre ellas; estos pueden ser los micro o mesoporos responsables de la baja área superficial obtenida.

La Figura 5 y la Tabla 3 muestran la composición en masa y molar porcentual promedio de Mo y Ni en cada uno de los catalizadores sintetizados; estos indican la presencia de Mo y Ni en la superficie de los catalizadores.

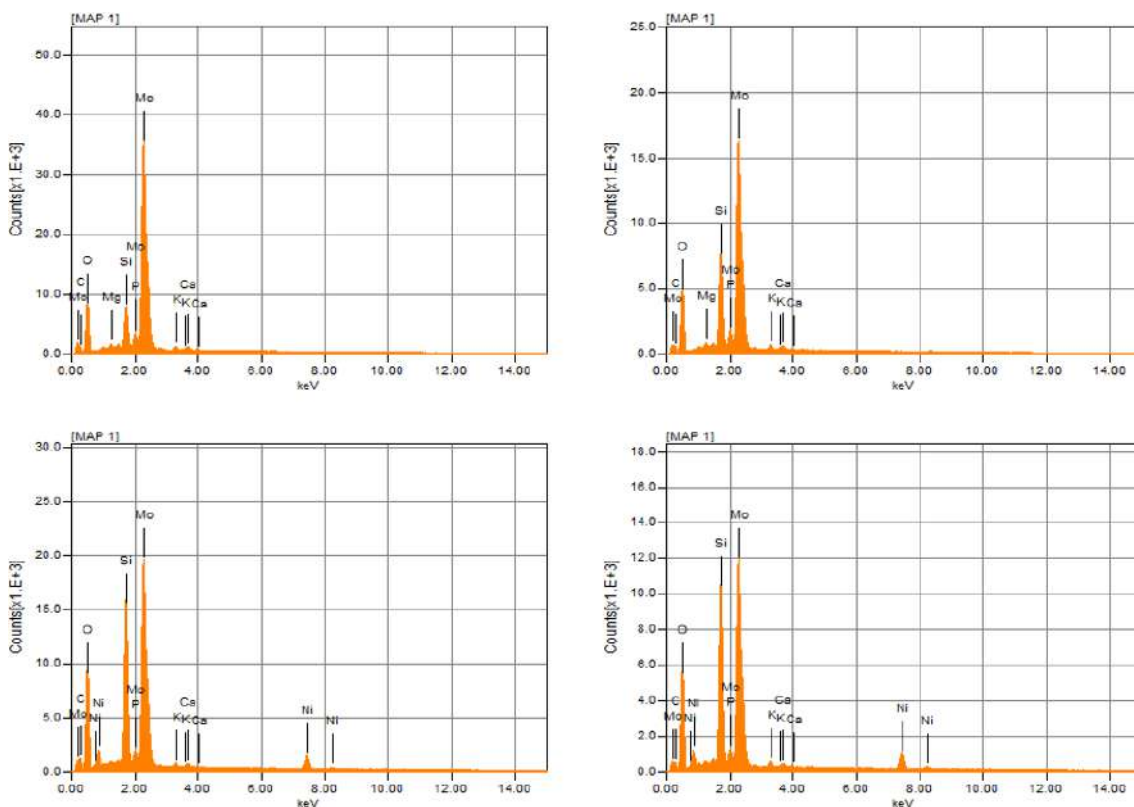


Figura 5. Espectros EDS del análisis elemental de los catalizadores sintetizados.

Tabla 3. Composición porcentual de Mo y Ni de los catalizadores sintetizados.

CATALIZADOR	Mo	Ni	Mo	Ni
	% mol			
Mo/CA1	53.476	-	17.14	-
Mo/CA2	49.813	-	15.146	-
NiMo/CA1	41270	6426	11.926	3.05
NiMo/CA2	43.423	6676	13.34	3.35

Nota. Elaboración de Somyanonthanakun et al., 2023.

Las micrografías representativas de los catalizadores Mo sintetizados se muestran en la Figura 6. Allí se puede observar la presencia no uniforme de Mo en la superficie; por lo que es probable que se encuentre acumulado en mayor cantidad en determinadas zonas, lo cual satura los poros y disminuye su actividad catalítica.

De igual forma, las micrografías de los catalizadores NiMo sintetizados, que se ilustran en la Figura 7, mostraron la presencia de Ni y Mo en la superficie. Puede apreciarse en la imagen que su distribución no es uniforme; sin embargo, a pesar de ello el catalizador NiMo/CA1 muestra una mejor dispersión de las especies.

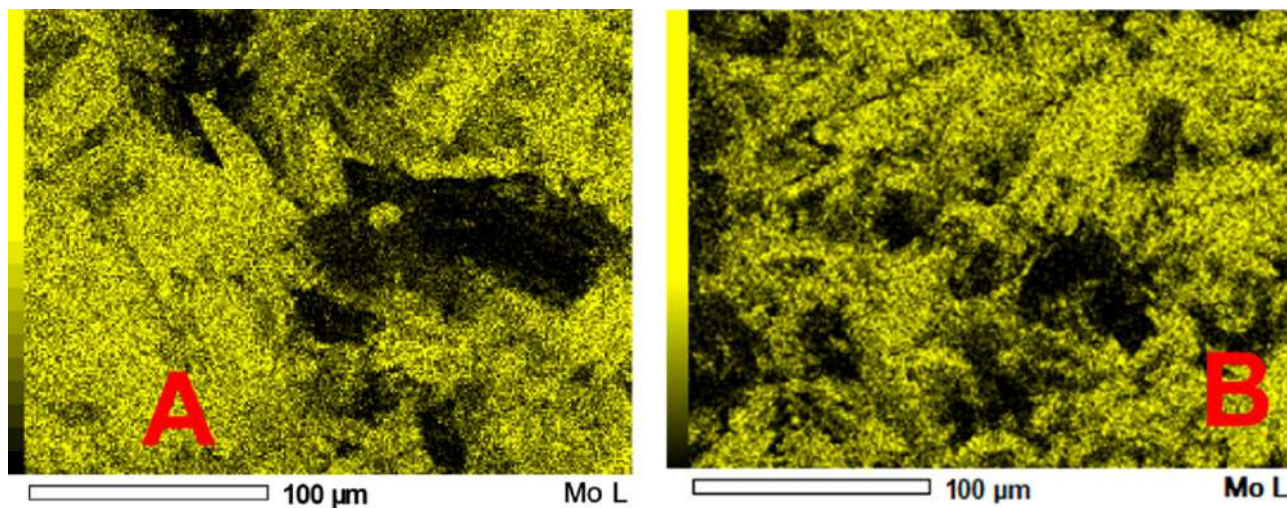


Figura 6. Micrografías MEB de los catalizadores A) Mo/CA1 y B) Mo/CA2 a 100 µm.

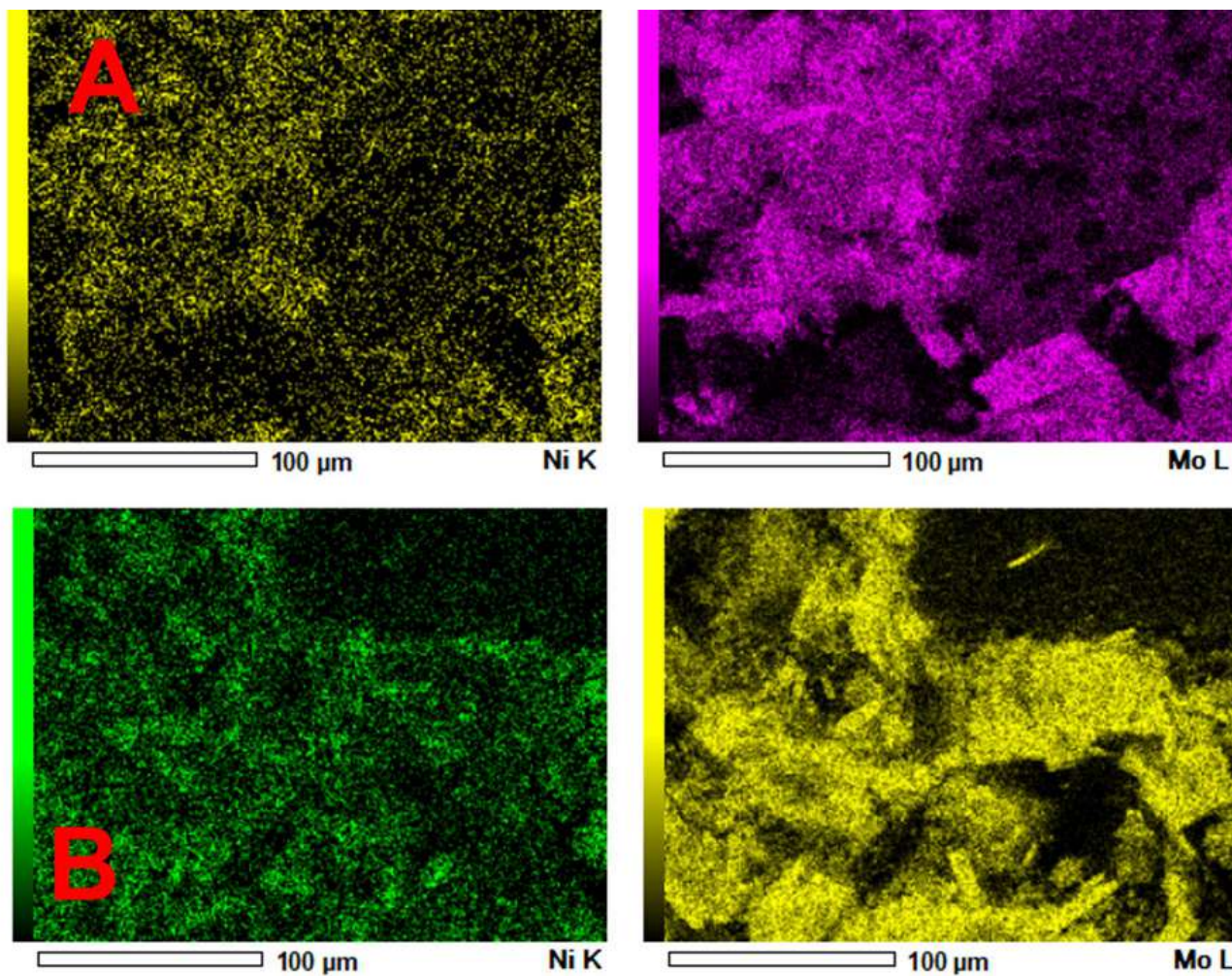


Figura 7. Micrografías MEB de los catalizadores A) NiMo/CA1 y B) NiMo/CA2 a 100 µm.

Evaluación catalítica

La reacción de transesterificación en la que se emplea un catalizador heterogéneo se muestra en la Figura 8.

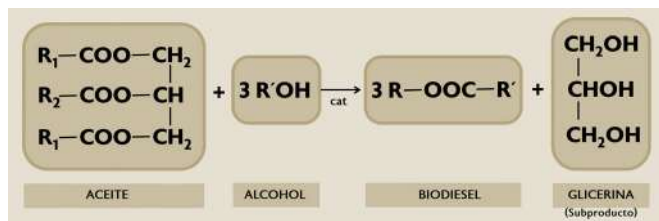


Figura 8.

Reacción de transesterificación.
Elaboración de Quader & Ahmed, 2017.

Para calcular el rendimiento de la reacción, primero se requiere calcular la masa final de biodiesel (m_{FB100}), asumiendo un 100 % de conversión:

$$m_{FB100} = \frac{(m_{\text{aceite de palma}} + m_{\text{metanol}})(PM_{Mo} + 4)}{PM_{Mo}}$$

Donde $PM_{Mo} = 849.1929$ g/mol, y las masas de aceite de palma ($m_{\text{aceite de palma}}$) y metanol (m_{metanol}) que se emplearon durante la reacción de transesterificación.

Con lo anterior, ya puede calcularse el rendimiento porcentual de la reacción por medio de la siguiente fórmula:

Con lo anterior, ya puede calcularse el rendimiento porcentual de la reacción por medio de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{(m_{\text{biodiesel}})}{m_{FB100}} (100)$$

La Figura 9 indica los rendimientos porcentuales de la reacción de los catalizadores durante los diferentes tiempos de reacción.

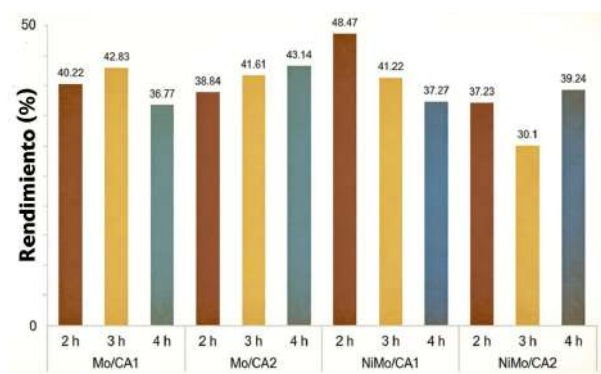


Figura 9.

Rendimiento obtenido con los catalizadores Mo y NiMo en el proceso de transesterificación del aceite de palma.

De acuerdo con los resultados mostrados, el mayor rendimiento, 48.47 %, fue el obtenido por el catalizador NiMo/CA1 después de dos horas de reacción. Esto puede deberse al efecto promotor del Ni y por la mejor dispersión del Mo superficial. Sin embargo, al contrario del NiMo/CA2, presenta un proceso de desactivación con el transcurso del tiempo, probablemente debido a un bloqueo de poros.

El rendimiento obtenido es significativamente menor al obtenido con catalizadores soportados en CAs provenientes de otra biomasa, los cuales son mayores al 80 % (Naji & Tye, 2022); sin embargo, estos utilizan cantidades de material catalítico que oscilan entre 2 y 5 % p/p con respecto a la cantidad de aceite, mientras que en este trabajo solo se empleó el 0.5 % p/p, por lo que su uso podría ser viable al aumentar la cantidad de catalizador.

Caracterización fisicoquímica del biodiesel

Las propiedades fisicoquímicas de las muestras de biodiesel fueron analizadas en función de la temperatura, de 20 °C a 90 °C con intervalos de 10 °C. Se debe mencionar que únicamente se analizaron muestras del producto de las reacciones con las que se obtuvo mayor rendimiento.

La Figura 10 muestra los datos ajustados linealmente y las ecuaciones generadas de dicho ajuste, con lo que se determinó la densidad.

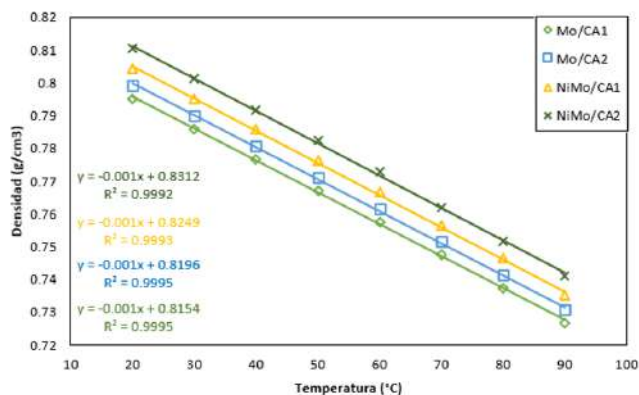


Figura 10.

Ajuste polinomial de la densidad del biodiesel obtenido en función de la temperatura ajustada linealmente.

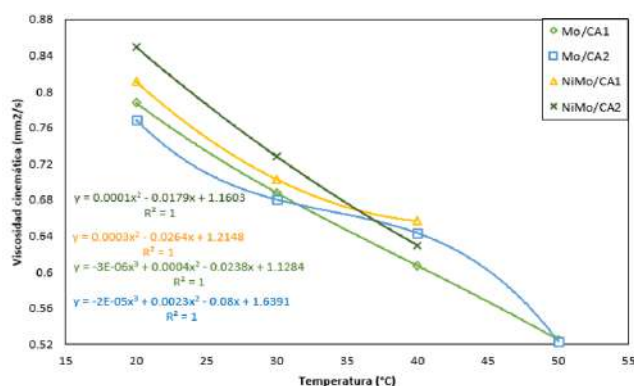
Por lo tanto, dado que los valores del coeficiente de correlación de los cuatro ajustes lineales son mayores que 0.999, se considera que no es necesario hacer ajustes polinomiales, de modo que las ecuaciones obtenidas son apropiadas para el cálculo de densidades de biodiesel a la temperatura que se desee. La Tabla 4 muestra la densidad del biodiesel calculada a 15 °C, dependiendo del catalizador usado, con el fin de compararla con las normativas ASTM D6571 y EN 14214.

La ASTM D6571 indica que la densidad del biodiesel debe ser de 0.880 g/cm³, mientras que la normativa EN 14214 indica que se debe encontrar entre 0.860 y 0.900 g/cm³. Aunque la densidad más alta registrada es del biodiesel obtenido usando NiMo/CA2, las densidades calculadas se encuentran por debajo de lo indicado por ambas normativas.

Tabla 4.

Densidad del biodiesel obtenido con los catalizadores sintetizados calculado a 15°C.

CATALIZADOR USADO	TIEMPO DE REACCIÓN (h)	DENSIDAD CALCULADA a 15 °C (g/cm ³)
Mo/CA1	3	0.8004
Mo/CA2	4	0.8045
NiMo/CA1	2	0.8099
NiMo/CA2	4	0.8162

**Figura 11.**

Ajuste polinomial de la densidad del biodiesel obtenido en función de la temperatura ajustada linealmente.

La viscosidad cinemática de las muestras de biodiesel se exhiben en la Figura 11 y en la Tabla 5. Se hicieron ajustes polinomiales a los datos: el ajuste hecho para las muestras de biodiesel usando Mo/CA1 y Mo/CA2 fueron de segundo grado, ya que un ajuste lineal mostraba un coeficiente de correlación menor que 0.999; los ajustes de las muestras de biodiesel usando NiMo/CA1 y NiMo/CA2 fueron de tercer grado, dado que los ajustes lineal y polinomial de segundo grado mostraban un coeficiente de correlación menor que 0.999.

Las normativas para el biodiesel establecen que la viscosidad cinemática debe encontrarse entre 1.9-6.0 mm²/s (ASTM D6571) o 3.5-5.0 mm²/s (EN 14214), por lo tanto, según los datos de la Tabla 5, las viscosidades cinemáticas obtenidas están muy por debajo de lo establecido.

La Tabla 6 muestra los valores de poder calorífico obtenidos; el mayor dato registrado fue el del biodiesel obtenido usando el catalizador Mo/CA1 después de tres horas de reacción.

Las propiedades del biodiesel dependen fuertemente de la materia prima utilizada, es decir, dependen de la composición de ácidos grasos contenidos en los aceites y grasas,

formando diferentes mezclas de metiléster. El contenido de carbonos de los biocombustibles está relacionado con el poder calorífico; en el caso del biodiesel, las cadenas de carbono se encuentran en un rango de C12-C22.

Los parámetros establecidos de poder calorífico por la ASTM para el diésel (ASTM D975) y biodiesel (ASTM D6571) son 45 000 J/g y 37 300 J/g, respectivamente; es decir, el biodiesel tiene un poder calorífico 12 % menor respecto al diésel, una menor energía, lo que puede impactar en el desempeño del motor, tanto en el nivel de ruido como en los gases de emisiones. El biodiesel con mayor poder calorífico obtenido presenta valores significativamente menores que los parámetros establecidos, es decir, que su uso presentaría dificultades para el desempeño de los automotores en los que podría emplearse.

Tabla 5.

Viscosidad cinemática del biodiesel obtenido con los catalizadores sintetizados calculada a 40 °C.

CATALIZADOR USADO	TIEMPO DE REACCIÓN (h)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA (mm ² /s)
Mo/CA1	3	0.6170
Mo/CA2	4	0.6432
NiMo/CA1	2	0.6568
NiMo/CA2	4	0.6248

Tabla 6.

Poder calorífico del biodiesel obtenido con los catalizadores sintetizados.

CATALIZADOR USADO	TIEMPO DE REACCIÓN (h)	PODER CALORÍFICO (J/g)
Mo/CA1	3	19 975.51
Mo/CA2	4	19 402.95
NiMo/CA1	2	11 605.95
NiMo/CA2	4	18 295.85

En general, las propiedades fisicoquímicas del biodiesel obtenido presentan valores menores que los establecidos por la normatividad; sin embargo, estas podrían mejorarse por la optimización de las condiciones de reacción en trabajos futuros.

CONCLUSIONES

Los carbones activados obtenidos a partir del bagazo de caña son materiales que pueden emplearse como soportes para la producción de biodiesel a partir del aceite de palma por el método de transesterificación, ya que presentan propiedades texturales como área superficial y diámetro de poro adecuados para este proceso. Sin embargo, su baja porosidad, comparada con la de otros carbones activados, dificulta la dispersión de las especies de Ni y Mo y puede sufrir desactivación por bloqueo de poros, lo cual conduce a una baja actividad catalítica en comparación con la obtenida con otros catalizadores soportados en CAs; sin embargo, esta podría mejorar al aumentar el contenido de catalizador en la reacción.

El biodiesel obtenido por la transesterificación de aceite de palma presentó propiedades fisicoquímicas simila-

res empleando los catalizadores Mo y NiMo sintetizados, aunque por debajo de los límites establecidos en la normatividad. Esto podría mejorarse modificando las técnicas de preparación de los carbones activados, así como el contenido de Mo y Ni de los catalizadores.

La principal limitación del estudio fue la baja área superficial de los carbones activados, lo que ocasionó una deficiente dispersión de Mo y Ni, lo que generó una baja actividad catalítica y rendimientos de biodiesel inferiores a los reportados en la literatura.

A futuro, se propone mejorar el proceso de activación del carbón, optimizar la carga metálica y las condiciones de reacción, así como evaluar la estabilidad y reutilización del catalizador.

REFERENCIAS

- Abo El Naga, A. O., El Saied, M., Shaban, S.A., & El Kady, F.Y. (2019). Fast removal of diclofenac sodium from aqueous solution using sugar cane bagasse-derived activated carbon. *Journal of Molecular Liquids*, 285(1), 919. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2019.04.062>
- Adinaveen, T., Kennedy, L.J., Vijaya, J.J., & Sekaran, G. (2013). Studies on structural, morphological, electrical and electrochemical properties of activated carbon prepared from sugarcane bagasse. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(5), 1470-1476. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.01.010>
- Akream, N. S., Hamd, M. I., Gheni, S. A., Al-Sudani, F.T., Mohammed, A.E., Mohammed, H.R., Ali, M.M., Ahmed, S.M.R., Türköz Karakullukcu, N., & Tahah, A.K. (2024). High-yield activated carbon based ZnO-Ce bifunctional catalyst for production of biodiesel from waste cooking oil. *Energy Conversion and Management*, 321, 119054. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2024.119054>
- Alalwan, H.A., Alminshid, A.H., & Aljaafari, H.A.S. (2019). Promising evolution of biofuel generations. Subject review. *In Renewable Energy Focus*, 28, 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2018.12.006>
- Ali, A.H., Wanderlind, E.H., & Almerindo, G.I. (2024). Activated carbon obtained from malt bagasse as a support in heterogeneous catalysis for biodiesel production. *Renewable Energy*, 220, 119656. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2023.119656>
- Catalán, H. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México (Impact of renewable energies on greenhouse gas emissions in Mexico). *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 52(204). <https://doi.org/10.22201/IIIEC.20078951E.2021.204.69611>
- Babatunde, E.O., Enomah, S., Akwenuke, O.M., Adepoju, T.F., Okwelum, C.O., Mundu, M.M., Aiki, A., & Oghenejabor, O.D. (2025). Novel-activated carbon from waste green coconut husks for the synthesis of biodiesel from pig fat oil blends with tallow seed oil. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11, 101058. <https://doi.org/10.1016/J.CSCEE.2024.101058>
- Balboa Palomino A. (2018). *Síntesis y caracterización de catalizadores NiMo/Zr-SBA-15: Efecto de la relación Zr/Si sobre las propiedades del SBA-15* (Synthesis and Characterization of NiMo/Zr-SBA-15 Catalysts: Effect of the Zr/Si Ratio on the Properties of SBA-15). [Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero].
- Bardhan, P., Deka, A., Bhattacharya, S.S., Mandal, M., & Katak, R. (2021). *Economical aspect in biomass to biofuel production. In: Value-Chain of Biofuels: Fundamentals, Technology, and Standardization* (pp.395-427). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824388-6.00003-8>
- Baskar, G., Kalavathy, G., Aiswarya, R., & Abarnaebenezer Selvakumari, I. (2018). Advances in bio-oil extraction from nonedible oil seeds and algal biomass. In: K. Azad (Ed.). *Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment* (pp. 187-210). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102728-8.00007-3>
- Cabello Mendoza, L.P. (2019). *Investigación y desarrollo de óxido de calcio como material sorbente de CO₂, proveniente de la cáscara de huevo, de tamaño nanométrico, dopado con TiO₂, PET y carbón activado* (Research and Development of Calcium Oxide as a CO₂ Sorbent Material, Derived from Eggshell, of Nanometric Size, Doped with TiO₂, PET, and Activated Carbon). [Tesis de Doctorado, Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial]. <https://cidesi.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1024/390>
- Das, A., Jati, A.P., Selvaraj, M., Katak, R., Baskar, G., Halder, G., & Rokhum, S.L. (2024). Psidium guajava (guava) leaves derived functional activated carbon as a heterogeneous catalyst for conversion of Jatropha curcas oil to biodiesel. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 181, 106636. <https://doi.org/10.1016/J.JAAP.2024.106636>

- Elgharbawy, A.S., Sadik, W.A., Sadek, O.M., & Kasaby, M.A. (2021). A review on biodiesel feedstocks and production technologies. In *Journal of the Chilean Chemical Society*, 66(1), 5098-5109. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072021000105098>
- Foroozandeh, A., Hatefirad, P., Safaei Mahmoudabadi, Z., & Tavasoli, A. (2023). Catalytic Activity of Synthesized Nimo Catalysts on Walnut Shell Activated Carbon for Heavy Naphtha Hydrotreating. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 42(1), 38-50. <https://doi.org/10.30492/IJCCCE.2022.542314.5010>
- Freire Ordóñez, C., & Medrano Barboza, J. (2019). Optimización del proceso de obtención de biodiesel de una empresa de producción, mediante simulación (Optimization of the process of obtaining biodiesel from a production company, through simulation). *Perspectivas*, 4(16), 105-116. <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Pers/article/view/2081>
- Gesteiro, E., Galera-Gordo, J., & González-Gross, M. (2018). Aceite de palma y salud cardiovascular: consideraciones para valorar la literatura (Palm Oil and Cardiovascular Health: Considerations for Evaluating the Literature). *Nutrición Hospitalaria*, 35(5), 1229-1242. https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0212-16112018000900032&script=sci_abstract
- Gonçalves, G. da C., Pereira, N.C., & Veit, M.T. (2016). Production of bio-oil and activated carbon from sugarcane bagasse and molasses. *Biomass and Bioenergy*, 85, 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.12.013>
- Greish, A.A., Sokolovskiy, P.V., Finashina, E.D., Kustov, L.M., Vezentsev, A.I., & Chien, N.D. (2021). Adsorption of phenol and 2,4-dichlorophenol on carbon-containing sorbent produced from sugar cane bagasse. *Mendeleev Communications*, 31(1), 121-122. <https://doi.org/10.1016/J.MENCOM.2021.01.038>
- Greish, A.A., Sokolovskiy, P.V., Finashina, E.D., Kustov, L.M., Vezentsev, A.I., Chien Nguyen, D., & Chau Nguyen, H. (2022). Efficient carbon adsorbent for hydrogen sulfide produced from sugar cane bagasse. *Mendeleev Communications*, 32(6), 828-830. <https://doi.org/10.1016/J.MENCOM.2022.11.040>
- Hongloi, N., Prapainainar, P., Seubsai, A., Sudsakorn, K., & Prapainainar, C. (2019). Nickel catalyst with different supports for green diesel production. *Energy*, 182, 306-320. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.020>
- Instituto Nacional de las Mujeres. (2024). Las mujeres en el sector agropecuario, Desigualdad en cifras (Women in the Agricultural Sector, Inequality in Figures).
- Iwanow, M., Gärtner, T., Sieber, V., & König, B. (2020). Activated carbon as catalyst support: Precursors, preparation, modification and characterization. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 16, 1188-1202. <https://doi.org/10.3762/bjoc.16.104>
- Khademi, D., Mohammadi, M.J., Shokri, R., Takdastan, A., Mohammadi, M., Momenzadeh, R., & Yari, A.R. (2018). Application of cane bagasse adsorption on nitrate removal from groundwater sources: adsorption isotherm and reaction kinetics. *Desalination and Water Treatment*, 120, 241-247. <https://doi.org/10.5004/DWT.2018.22730>
- Kohli, K., Prajapati, R., Maity, S.K., & Sharma, B.K. (2020). Effect of silica, activated carbon, and alumina supports on NiMo catalysts for residue upgrading. *Energies*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/en13184967>
- Kumar, P., Maity, S.K., & Shee, D. (2019). Role of NiMo Alloy and Ni Species in the Performance of NiMo/Alumina Catalysts for Hydrodeoxygenation of Stearic Acid: A Kinetic Study. *ACS Omega*, 4(2). <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b03592>
- Mahlia, T.M.I., Ismail, N., Hossain, N., Silitonga, A.S., & Shamsuddin, A.H. (2019). Palm oil and its wastes as bioenergy sources: a comprehensive review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(15). <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04563-x>
- Maleki, B., Ashraf Talesh, S.S., & Mansouri, M. (2022). Comparison of catalysts types performance in the generation of sustainable biodiesel via transesterification of various oil sources: a review study. *Materials Today Sustainability*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2022.100157>
- Naji, S.Z., & Tye, C.T. (2022). A review of the synthesis of activated carbon for biodiesel production: Precursor, preparation, and modification. *Energy Conversion and Management: X*, 13, 100152. <https://doi.org/10.1016/j.ECMX.2021.100152>
- Nasreen, S., Nafees, M., Qureshi, L.A., Asad, M.S., Sadiq, A., & Ali, S.D. (2018). Review of Catalytic Transesterification Methods for Biodiesel Production. In K. Biernat (Eds.), *Biofuels - State of Development*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75534>
- Nath Prajapati, Y.N. & Verma, N. (2018). Hydrodesulfurization of Thiophene on Activated Carbon Fiber Supported NiMo Catalysts. *Energy and Fuels*, 32(2). <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b03407>
- Nguyen, T.H., Nguyen, T.H., Nguyen, T.N., Nghiem, X.S., Le Minh, T., & Vu, A.T. (2025). Preparation of functional materials based on activated carbon from bagasse and its application in Pb2+ adsorption in an aqueous environment. *Materials Today Communications*, 47, 113158. <https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2025.113158>
- Quader, M.A., & Ahmed, S. (2017). Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS): Future prospects of carbon-negative technologies. In: M.G. Rasul, A.K. Azad and S.C. Sharma (Eds.), *Clean Energy for Sustainable Development: Comparisons and Contrasts of New Approaches*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805423-9.00004-1>
- Rizwanul Fattah, I.M., Ong, H.C., Mahlia, T.M.I., Mofijur, M., Silitonga, A.S., Ashrafur Rahman, S.M., & Ahmad, A. (2020). State of the Art of Catalysts for Biodiesel Production. *Frontiers in Energy Research*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00101>
- Robles, S., Silva Rodrigo, R., García Alamilla, R., Ramos Galván, C.E., Carrizales Martínez, G., Sandoval Robles, G. & Castillo Mares, A. (2006). Carbón activado modificado como soporte para catalizadores prototipo de HDS (Modified Activated Carbon as a Support for Prototype HDS Catalysts). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5(3), 279-284. <https://www.redalyc.org/pdf/620/62050314.pdf>
- Ruangudomsakul, M., Osakoo, N., Keawkumay, C., Kongmanklang, C., Butburee, T., Kiatphuengporn, S., Faungnawakij, K., Chanlek, N., Wittayakun, J., & Khemthong, P. (2021). Influential properties of activated carbon on dispersion of nickel phosphides and catalytic performance in hydrodeoxygenation of palm oil. *Catalysis Today*, 367. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2020.04.068>
- SAGARPA (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación) (2017). Palma de aceite mexicana (Mexican Palm Oil). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257081/Potencial-Palma_de_Aceite.pdf

- Saikia, K., Das, A., Sema, A.H., Basumatary, S., Shaemningwar Moyon, N., Mathimani, T., & Rokhum, S.L. (2024). Response surface optimization, kinetics, thermodynamics, and life cycle cost analysis of biodiesel production from *Jatropha curcas* oil using biomass-based functional activated carbon catalyst. *Renewable Energy*, 229, 120743. <https://doi.org/10.1016/j.RENENE.2024.120743>
- Singh, R., Kunzru, D., & Sivakumar, S. (2021). Enhanced catalytic activity of ultrasmall NiMoW trimetallic nanocatalyst for hydrodesulfurization of fuels. *Fuel*, 288, 119603. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119603>
- Solis-Fuentes, J.A., Galán-Méndez, F., Hernández-Medel, M. del R., García-Gómez, R.S., Bernal-González, M., Mendoza-Pérez, S., & Durán-Domínguez-de-Bazúa, M. del C. (2019). Effectiveness of bagasse activated carbon in raw cane juice clarification. *Food Bioscience*, 32, 100437. <https://doi.org/10.1016/j.FBIO.2019.100437>
- Somyanonthanakun, W., Greszta, A., Roberts, A.J., & Thongmee, S. (2023). Sugarcane Bagasse-Derived Activated Carbon as a Potential Material for Lead Ions Removal from Aqueous Solution and Supercapacitor Energy Storage Application. *Sustainability*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/su15065566>
- Tapia, J., Acelas, N.Y., López, D., & Moreno, A. (2017). NiMo-sulfide supported on activated carbon to produce renewable diesel. *Universitas Scientiarum*, 22(1). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC22-1.nsoa>
- Tian, H., Zhou, T., Huang, Z., Wang, J., Cheng, H., & Yang, Y. (2021). Integration of spent coffee grounds valorization for co-production of biodiesel and activated carbon: An energy and techno-economic case assessment in China. *Journal of Cleaner Production*, 324, 129187. <https://doi.org/10.1016/j.JCLEPRO.2021.129187>
- Vázquez-Garrido, I., López-Benitez, A., Guevara-Lara, A., & Berhault, G. (2021). Synthesis of NiMo catalysts supported on Mn-Al₂O₃ for obtaining green diesel from waste soybean oil. *Catalysis Today*, 365, 327-340. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2020.06.001>
- Vilas Bôas, R.N., & Mendes, M.F. (2022). A review of biodiesel production from non-edible raw materials using the transesterification process with a focus on influence of feedstock composition and free fatty acids. *J. Chil. Chem. Soc.*, 67(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072022000105433>
- Younis Al-Ani, Y.M., Ridha, A.M., Abbas, T.K., Ahmadlouydarab, M., & Kamar, F.H. (2026). Modeling and enhanced biodiesel production using a sustainable green catalyst based on palm frond-activated carbon supported with zirconium oxide. *Fuel*, 403, 136118. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2025.136118>

Las emociones y las mujeres: Agencia femenina en Grecia antigua

Evelia Arteaga Conde

RESUMEN

El presente texto analiza la tragedia *Hécuba* de Eurípides desde una perspectiva feminista y en diálogo con el “giro afectivo”, con el objetivo de cuestionar la idea tradicional de la pasividad femenina en la Grecia antigua y demostrar que el dolor puede constituir una forma de agencia social y política. La investigación parte de un enfoque filológico y teórico que articula estudios de género, teoría cognitiva y constructivista de las emociones y análisis del lamento trágico entendido como acto de habla performativo. Metodológicamente, se rastrea de forma sistemática las apariciones del grito *oímoi* en la obra, seguido de un análisis sintáctico, métrico y contextual de cada aparición dentro de la estructura dramática. Los resultados muestran que el uso del lamento por parte de Hécuba, Políxena y el coro de mujeres no expresa mera pasividad ni victimización, sino que articula prácticas de cuidado mutuo, decisiones éticas y acciones con impacto público, como la aceptación voluntaria del sacrificio y la planificación estratégica de la venganza. En contraste, el sufrimiento de Poliméstor se presenta como individual, reactivo y carente de transformación social. Se concluye que el dolor femenino en la tragedia eurípidea funciona como motor de acción dramática y como forma de intervención efectiva en el espacio público.

Palabras clave: Grecia antigua, agencia femenina, emociones, tragedia.

Cómo citar: Arteaga, E. (2026). Las emociones y las mujeres: Agencia femenina en Grecia antigua. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto13>

Emotions and women: Female agency in ancient Greece

ABSTRACT

This text analyzes Euripides' tragedy *Hecuba* from a feminist perspective and in dialogue with the "affective turn," with the aim of questioning the traditional idea of female passivity in ancient Greece and demonstrating that pain can constitute a form of social and political agency. The research is based on a philological and theoretical approach that articulates gender studies, cognitive and constructivist theory of emotions, and analysis of tragic lament understood as a performative speech act. Methodologically, a systematic search is carried out for occurrences of the *oimoi* cry in the play, followed by a syntactic, metrical, and contextual analysis of each occurrence within the dramatic structure. The results show that the use of lament by Hecuba, Polyxena, and the chorus of women does not express mere passivity or victimization, but rather articulates practices of mutual care, ethical decisions, and actions with public impact, such as the voluntary acceptance of sacrifice and the strategic planning of revenge. In contrast, Polymestor's suffering is presented as individual, reactive, and lacking in social transformation. It is concluded that female pain in Euripidean tragedy functions as a driving force for dramatic action and as a form of effective intervention in the public sphere.

Keywords: Ancient Greece, female agency, emotions, tragedy.

INTRODUCCIÓN

Como sabemos, Grecia antigua era una sociedad patriarcal; a partir de ello, se ha afirmado, de forma generalizante, que la mujer se dedicaba casi en exclusiva a las labores de mantenimiento del hogar y de la familia, mientras que el hombre era el encargado de la vida social de la ciudad en diversos ámbitos –político, económico y jurídico especialmente–; esto es, fuera del hogar, tal como lo describe Jenofonte en *Económico* (1993):

Techo necesita también la crianza de los niños recién nacidos, y también lo necesita la molienda del grano para fabricar el pan, lo mismo que la confección del vestido de lana. Por ello, ya que como se aprecia, tanto las faenas de dentro como las de fuera necesitan atención y cuidado, en mi opinión, la divinidad, creó la naturaleza de la mujer apta desde un principio para las labores y cuidados interiores, y la del varón para los trabajos y cuidados de fuera (VII.21-23)

Aunque lo haya afirmado un autor fundamental para la comprensión de la sociedad griega de la Antigüedad, es necesario matizar dichas afirmaciones con análisis específicos y desde otras perspectivas para entender y ampliar la

agencia que las mujeres tuvieron en esa sociedad. Solo de esta manera se logrará una profundización en el conocimiento de esta cultura.

Llevar a cabo estos análisis permite reflexionar en la herencia de la cultura griega antigua, entre los que se encuentran el patriarcado y la discriminación hacia las mujeres, lo cual fue incuestionable y, por tanto, no necesario de profundizarse durante muchos siglos (tiempo en el que la misma sociedad que estudiaba a Grecia no se cuestionaba el estatus de las mujeres). Afortunadamente, desde hace algunas décadas se han llevado a cabo estudios con perspectiva de género y feministas que han mostrado maneras diferentes de entenderla y, por ende, la nuestra.

El estudio de las emociones es una de las maneras en que se ha logrado ver desde otra mirada a las sociedades de la Antigüedad. Este trabajo sigue la tradición de estudios como los de Rodríguez Cidre (2014) para lograr una visión más profunda del papel de las mujeres en las obras griegas.

Esta investigación parte de la teoría cognitiva y constructivista, que plantea que las emociones son específicas de un determinado entorno; esto es, que son contextuales. Para Ahmed (2014) las emociones intervienen en la articulación de las acciones humanas.

Para complementar esta perspectiva, se parte también del concepto de “representaciones de género”, que Soledad González Montes explica como “una forma particular de las representaciones sociales, referidas específicamente a las concepciones culturales sobre ‘lo femenino’ y ‘lo masculino’ y las relaciones entre hombres y mujeres” (2019, p. 15). Además, la teoría feminista y otras relacionadas con esta plantearon el concepto de “giro afectivo”, que coloca en una posición central y fundamental a las emociones, sentimientos y afectos para analizar y teorizar lo social. Con esto en mente se puede entender que lo que se diga de las mujeres en las obras que aquí se van a analizar es resultado de convenciones sociales compartidas por la audiencia de estas tragedias.

Entre la bibliografía que se ha producido basada en el giro afectivo, interesa en particular lo que Macón (2013) especifica sobre este:

[...] desplegar una perspectiva sobre el papel de los afectos en la vida pública cuestionando ciertos esquemas establecidos, tales como la distinción tajante entre la esfera pública y la privada, la asociación entre sufrimiento y desempoderamiento/victimización o la vinculación exclusiva de afectos clásicamente positivos como el orgullo a la acción política. Se trata de un marco que busca dar cuenta de la dimensión afectiva en términos tales que refieran tanto al cuerpo como a la mente, involucrando razón y pasiones (pp. 9-10).

Si bien Macón no investiga específicamente la situación de las mujeres, esta perspectiva ayuda a profundizar en su estudio.

Finalmente, a este entramado teórico agregó también el concepto de “agencia” al análisis de las emociones. Ser “agente” significa hacer que los hechos sucedan de forma intencional a través de las propias acciones. Por ello se explica que “las características esenciales de la agencia permiten a las personas participar en su propio desarrollo, adaptación y renovación con el paso del tiempo”, afirma Bandura (2001, p. 2). Además, desde finales del siglo pasado, el estudio de la agencia femenina ha sido fundamental en los enfoques feministas. A su vez, Wohl (2005) explica:

[Los estudios] comenzaron a centrarse en la agencia femenina y a analizar las formas en que la dramatización de la experiencia subjetiva de una mujer puede complicar su posición estructural dentro de las instituciones y relaciones del mundo masculino de la tragedia (p. 153, trad. propia).

A esta tradición se suma la presente investigación. A partir de analizar las diversas emociones que expresan las mujeres en las tragedias de Eurípides, planteo su agencia en el ámbito público de la misma obra. Me enfocaré en particular específicamente en el dolor y el lamento. Precisamente, el estudio de los lamentos griegos antiguos lo trata-

ron, entre otros, Alexiou (1974)), Vermeule (1974), Loraux (1986), Sultan (1993), McClure (1999), Murnaghan (1999) y Dué (2006). Ello, además, se inscribe en la tradición de Dué (2006) que, en su obra sobre el lamento de la mujer cautiva en la tragedia griega, afirma lo siguiente:

En los últimos años, los lamentos se han interpretado como poderosos actos de habla, capaces de incitar a la acción violenta. Muchos académicos han señalado que, en el contexto del lamento, las mujeres pueden expresar preocupaciones subversivas y hablar de maneras que no podrían bajo ninguna otra circunstancia (pp. 8-9).

A lo largo de su libro, Dué (2006) demuestra que muchas mujeres en la tragedia manipulan a sus oyentes y logran lo que pretenden por medio del “lenguaje del lamento” (p. 9).

OBJETIVO

Este texto forma parte de mi investigación sobre el estudio de la agencia femenina en obras griegas de la Antigüedad a partir de diversas emociones. En el presente trabajo me enfocaré en el análisis del dolor que sufren las mujeres que fueron plasmadas en *Hécuba*, tragedia de Eurípides que fue representada alrededor de 420 a. C., durante la primera fase de la Guerra del Peloponeso. Esta obra retrata el sufrimiento de Hécuba, quien se ha retratado como la mujer que más sufrió pérdidas en la Guerra de Troya.

La finalidad de esta investigación es postular que el dolor forma parte de la agencia de la mujer, la cual no se queda en el ámbito privado, sino que incide en la vida pública. De esta manera, se podrá matizar la idea de que las mujeres griegas, todas ellas, fueron no solo marginadas, sino pasivas, sumisas y abnegadas.

Aristóteles define a las emociones como aquello por lo que los hombres son transformados y modifican sus juicios y a los cuales siguen dolor y placer (2011, 1378a20-23), pero no consideró que el dolor fuera, en sí mismo, una emoción. No ahondaré en esta discusión; ya el investigador Konstan (2015, 2016 y 2020) trató con profundidad el tema; Rodríguez Cidre (2024) afirma sobre esto: “según Konstan el dolor no era una emoción para Aristóteles debido a que no conduce a transformar o desestabilizar el mundo social, sino que está recluso al ámbito de la sensación individual” (p. 2).

También Aristóteles (2011, 1449a.11) explica que la tragedia griega proviene del ditirambo, una composición lírica dedicada a Dioniso y ejecutada durante el sacrificio de un macho cabrío en su honor, por lo que este canto es descrito como desgarrador y plañidero. De ahí que la tragedia esté plagada de lamentos, quejas, gritos y súplicas estridentes; en otras palabras, de sufrimiento, de dolor.

Además de la gran expresividad de las máscaras (Vovolis, 2009), el principal recurso que estas tragedias tuvieron para expresar dolor fue el grito. En su profundo estudio sobre el grito, Domínguez Ruiz (2022) afirma que las tragedias grie-

gas “tratan del sufrimiento, un estado en que el ser humano, sabiéndose alcanzado por un fatídico devenir, se rinde ante lo inminente y entonces grita” (p. 126) y así lo refiere:

En su versión escrita, las tragedias también están colmadas de gritos, a través de los cuales podemos leer las interjecciones *a, ai, e, ea, eē, euoi, ē, ēe, eia, iai, ieu, iou, iō, iōa, oa, oi, ō, ōē*; las palabras onomatopéyicas *attai, apappai, iauoi, ioph, góos, kokutós, kraude, ktupos, kónabo, mu, om, oimoi, ototoi, ótobos, papai, popax, popoi, pheu, pátagos*; y los gritos rituales *alalahe, alalai, eleleu, ololygmos y ololyge*. (p. 128)

Debido a la extensión limitada del presente estudio (y a que forma parte de mi investigación en curso), me centraré en uno solo de esos gritos: *oimoi* (u *ōmoi*, que, morfológicamente, es la misma palabra), cuyo significado en el diccionario de Liddell y Scott (1882) es: “una exclamación de dolor, miedo, compasión, ira, pena, también de sorpresa”. Debido a que esta expresión está formada por el pronombre personal *moi*, se puede traducir como “ay de mí”.

Entonces, postulo que el grito *oimoi* (u *ōmoi*) no solo formó parte fundamental de una lamentación, eje de la tragedia *Hécuba*, sino que coadyuvó a que quienes lo expresaron tuvieran una agencia a nivel social, especialmente las mujeres Hécuba y Políxena, ambas representadas como cautivas troyanas con un futuro incierto y vulnerable.

METODOLOGÍA

Para llegar al planteamiento que propongo, en primer lugar, rastree todas las veces que las palabras *oimoi* y *ōmoi* aparecen en la tragedia *Hécuba*: 6 veces pronunciadas por una mujer (5 Hécuba y 1 Políxena), 6 por un hombre (Poliméstor) y 3 por el coro (que estaba conformado por mujeres troyanas); esto es, 15 veces en total. Las traducciones que aquí cito son de López Férez (Eurípides, 1991).

Después, con este corpus delimitado, llevé a cabo un análisis sintáctico de las oraciones en donde aparecía la expresión para poder tener claridad del contexto en que se expresó dicha interjección, tomando en cuenta las partes estructurales de la tragedia.

A partir de este análisis pude encontrar –en la investigación filológica llevada a cabo durante los meses de julio y agosto de 2025– la constante que me permitió llegar a la conclusión de que el grito *oimoi* u *ōmoi* fue parte importante del lamento, fundamental en esta tragedia, y contribuyó a la agencia de las mujeres.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis descrito anteriormente, clasifiqué el uso de la expresión *oimoi* u *ōmoi* en dos tipos que se corresponden con las también dos partes fundamentales de la tragedia: uno utilizado por las dos mujeres protagonistas, Hécuba y Políxena, y por el coro (conformado también por

mujeres), que resumo con el título de “cuidados”; y otro por Poliméstor, que sintetizo como “sufrimiento individual”.

• Cuidados

La obra *Hécuba* de Eurípides transcurre en Tracia, donde los griegos hacen una parada durante su regreso de la guerra de Troya. Hécuba había sido reina de Troya, esposa de Príamo, madre de Héctor; ella y su esposo, al inicio de la guerra contra los griegos, habían enviado a su hijo menor, Polidoro, con el rey de Tracia, Poliméstor, para que lo mantuviera a salvo. Junto con el hijo, habían mandado también riquezas. Cuando el rey tracio se entera de que los griegos han ganado la guerra de Troya, decide matar a Polidoro y quedarse con las riquezas.

La tragedia empieza cuando el espectro de Polidoro cuenta su muerte y que su hermana, Políxena, va a ser sacrificada para satisfacer la petición del espectro de Aquiles. Su madre, Hécuba, no está segura de que esa visión sea real. Posteriormente, el coro de mujeres cautivas le anuncia a Hécuba que “en la reunión plenaria de los aqueos, se dice, ha parecido bien hacer de tu hija una víctima para Aquiles” (Eurípides, 1991, vv. 106-109) y le advierte:

Vendrá Ulises, si es que no lo ha hecho ya, para arrancar a la potrilla de tus pechos y apartarla de tu anciana mano. Mas ve a los templos, ve a los altares, échate como suplicante de Agamenón, ante sus rodillas, convoca a los dioses celestes y a los de bajo tierra. Pues, o las súplicas impedirán que tú seas privada de tu desdichada hija, o has de verla caída sobre la tumba, a la muchacha empurpurada con su sangre, de la fuente de brillo negro que brote de su cuello portador de oro. (Eurípides, 1991, vv. 141-153)

La primera vez que aparece *ōmoi* es parte de un *kommós* (Eurípides, 1991, vv. 154-215), canto lírico que se llevaba a cabo en momentos de gran dolor, entre el coro y un personaje, en este caso, Polidoro. Como parte de ese canto, Hécuba hace un largo lamento sobre su situación:

¡Ay de mí, desdichada! ¿Qué he de exclamar? ¿Qué son, qué gemido, desgraciada por mi desgraciada vejez, por mi esclavitud intolerable, insoportable! ¡Ay de mí (*ōmoi moi*)! ¿Quién me defiende? ¿Qué linaje? ¿Qué ciudad? Se ha ido el anciano, se han ido mis hijos... (Eurípides, 1991, vv. 154-158)

Como leemos, esta parte del *kommós* realizado por Hécuba se conforma, en primer lugar, por preguntas retóricas que describen su situación desdichada. Ella se lamenta por ser ahora una esclava, sin esposo, sin hijos varones, casi todos muertos en Troya, y por haber visto el espectro de su hijo Polidoro. Se puede apreciar, entonces, que la expresión que nos concierne antecede a la pregunta “¿Quién me defiende?”, lo cual refleja que no hay alguien que lo haga (especialmente un hombre).

La expresión *ōmoi* (a la cual sigue la repetición del pronombre de primera persona *moi*) apunta hacia esa desoladora situación de la protagonista de la tragedia y es fundamental si pensamos que este grito puede ser lo que llame la atención de Polixena, que se acerca a ella preguntándole “¿qué gritas (*boāis*)?” (Eurípides, 1991, v. 177). Hécuba le contesta y empieza un diálogo entre ambas, parte todavía del *kommós*, en donde cada una incluye una vez dicha expresión:

Hécuba: ¡Ay de mí (*oímoi*), hija!
Polixena: ¿Por qué me dices palabras de mal augurio? Funesto presagio me parece.
Polixena: ¡Ay de mí, madre! ¿Cómo pronuncias las más terribles de las desgracias?
Hécuba: ¡Ay, ay, por tu vida!
Polixena: Habla. No lo ocultes por más tiempo. Tengo miedo, tengo miedo, madre. ¿Por qué gimes?
Hécuba: ¡Oh hija, hija de una madre desdichada...! (Eurípides, 1991, vv. 180-186)

Vemos que ya la misma expresión *oímoi* indica palabras de mal augurio, según lo que dice Polixena; es decir, es parte fundamental de un lamento. Hécuba le cuenta que van a sacrificarla y Polixena le contesta: “¡Ay de mí (*oímoi*), madre! ¿Cómo pronuncias las más terribles de las desgracias? Indícamelo, indícamelo madre”. (Eurípides, 1991, v.188) Podría pensarse que Polixena se queja debido a que va a morir, pero inmediatamente después empieza a hablar de la situación en que dejará a su madre:

¡Oh tú que sufriste terriblemente! ¡Oh tú que lo has soportado todo! ¡Oh madre de vida infeliz! ¡Qué, qué ultraje odiosísimo e indecible ha suscitado de nuevo contra ti una divinidad! Ya no conservas esta hija, ya no seré tu compañera de esclavitud, desgraciada de mí, de una anciana desgraciada. Pues a mí, cachorro tuyo, como a ternera criada en la montaña, ¡infeliz de ti!, infeliz me verás arrancada de tu mano y con la garganta cortada, llevada a Hades bajo las tinieblas de la tierra, donde en compañía de los muertos yaceré infeliz. Lloro, madre, por tu, desdichada, con cantos fúnebres llenos de lamentos; pero no deploro mi vida, ultraje y afrenta, sino que para mí morir es una suerte mejor. (Eurípides, 1991, vv. 197-215)

Así que Polixena no vuelve a pronunciar dicho grito. Podemos pensar que Eurípides usó la expresión *oímoi* como parte de una primera reacción (instintiva) de Polixena ante el anuncio de su sacrificio, pero que, después de pensarlo adecuadamente, usando la razón, cambió de dirección su lamento. Esto se confirma versos después con el uso del verbo *phronéō*, cuando Ulises le dice a Hécuba, acerca del sacrificio de Polixena: “Procura no ser apartada por la violencia y no entables conmigo un forcejeo personal. Reconoce

tu fuerza y la inminencia de tus desgracias. Cosa sabia es, incluso en medio de las desgracias, pensar lo que se debe (*phronein*)” (Eurípides, 1991, vv. 225-228). Y, como es de apreciar, en efecto, Polixena lo acepta:

Porque te voy a seguir de acuerdo con la necesidad, y porque deseo morir. Si no quiero, resultaré cobarde y mujer amante de mi vida. Pues, ¿por qué debo vivir yo? Mi padre fue rey de todos los frigios [Príamo]. Ese fue el principio de mi vida. Después fui criada con hermosas esperanzas como novia de reyes, ocasionando una envidia no pequeña por mi boda [...] (Eurípides, 1991, vv. 346-356).

Incluso, cuando Ulises va por Polixena para llevarla al sacrificio (en el primer episodio de la tragedia) y Hécuba le ruega que la mate a ella, en vez de Polixena o junto con ella, esta interviene:

Madre, hazme caso. Tú, hijo de Laertes, perdona a mi madre que está irritada con razón. Y tú, oh desdichada, no luches con los poderosos. ¿Quieres caer al suelo, que desgarran tu viejo cuerpo al apartarte por la fuerza, y perder la compostura al ser arrastrada por un brazo joven, cosas que sufrirías? Tú, por lo menos, no. Pues no vale la pena [...] (Eurípides, 1991, vv. 402-408)

Además, esta entereza también se ve reflejada en la descripción del sacrificio de Polixena que hace Taltibio a Hécuba:

[Polixena] exclamó las siguientes palabras: “¡Oh argivos que destruiste mi ciudad! Moriré voluntaria. Que nadie toque mi cuerpo, pues ofreceré mi cuello con corazón bien dispuesto. Matadme, pero dejadme libre, para que muera libre, por los dioses. Pues, siendo una princesa, siento vergüenza de que se me llame esclava entre los muertos” (Eurípides, 1991, vv. 546-552)

Como observamos, en esta intervención de Polixena, contrasta su pasado (como parte de la realeza) con su presente, pero no expresa *oímoi*, puesto que está aceptando su sacrificio. Entonces, si bien los acontecimientos de su vida pueden ser considerados una desgracia, a través de hablar de su pasado regio, ella justifica su decisión de morir. En tal sentido, Dué afirma que “mientras que en los lamentos tradicionales se invoca el contraste entre el pasado y el presente junto con el anhelo de muerte, el lamento de Polixena convierte ese deseo en realidad. Es, en muchos sentidos, un acto de habla.” (2006, p. 122).

Incluso Taltibio le refiere a Hécuba lo último que fue dicho por Polixena de esta manera: “dijo las palabras más valientes de todas: ‘Mira: golpea aquí, si es que deseas, oh joven, golpear mi pecho, y si quieres en la base del cuello, dispuesta está aquí mi garganta’” (Eurípides, 1991, vv. 562-565). Este

termina su intervención reconociéndole a la madre: “Mientras digo tales cosas sobre tu hija muerta, te miro como la de mejores hijos entre todas las mujeres y la más desgraciada” (Eurípides, 1991, vv. 580-582)

Entonces, se puede pensar que la actitud valiente de Polixena responde a la función de las tragedias griegas en la educación de la sociedad de época clásica; al respecto, Sebillotte (2015) expresa que en la polis, los chicos jóvenes y el conjunto de ciudadanos llamados a luchar debían tomar como modelo el comportamiento idealizado [en las tragedias] de las doncellas, jóvenes, todavía solteras, obedientes a su padre y listas para morir en el nombre de la pureza de su sangre (p. 74). Si bien considerar esto es fundamental en el contexto griego, no es menor y, por ello, debe seguir estudiándose, el hecho de que sea una mujer la que muera por el bienestar y la gloria no solo de su madre, sino de un ejército griego y que, incluso, se le reconozca por ello.

Así que tanto la exclamación del grito aquí analizado como su posterior eliminación (al aceptar el sacrificio) pueden ser considerados como una agencia fundamental para Polixena y para Hécuba, no únicamente en el ámbito privado, sino también en el público, aun en contra de lo que sucedía en la cotidianidad, tal como explica Foley (2001):

Las mujeres tenían un papel importante en la cultura ateniense como reproductoras de hijos, participantes en rituales y festivales religiosos públicos y privados, y cuidadoras dentro de los hogares. Sus intervenciones trágicas más importantes y activas tienden a reflejar estas realidades, pero con una diferencia fundamental, ya que los personajes femeninos pueden ejercer una independencia y una libertad que, al menos idealmente, no se les permite fuera de la ficción. (p. 4)

La acción de Polixena de aceptar su sacrificio, desde la perspectiva del “giro afectivo”, podría implicar “una disolución de la distinción entre un polo activo y otro pasivo: el sufrimiento no implica pasividad; el trauma no resulta el exclusivo ensimismamiento del ego” (Macón, 2013, p. 10). Así, contribuye a que los griegos (aunque sean sus captivos) cumplan el pedido de Aquiles; es decir, una agencia que recae directamente en el plano social, no limitándose al privado.

Por otro lado, podemos ver que ambas, tanto Hécuba como Polixena, madre e hija, se cuidan. Ello también puede ser considerado una agencia importante. Ellas son lo único unido que queda de su familia, tienen que cuidarse; y no lo hacen desde una posición de pasividad. Hécuba actúa para salvar a su hija (incluso se ofrece para ser ella la sacrificada) y Polixena enfrenta con entereza su final. Ambas llevan a cabo agencia en el desarrollo de los acontecimientos de la tragedia. Cuando Polixena se despidió de su madre, ésta pronunció de nuevo la interjección que ahora analizamos: “¡Ay de mí (*oímoi*)! ¿Qué he de hacer? ¿Adónde irá a terminar mi vida?” (Eurípides, 1991, v. 419), siguiendo la misma línea del lamento por su futuro.

En la segunda antístrofa del estásimo 1.º (Eurípides, 1991, vv. 444-483), canto interpretado por el coro situado entre los episodios, donde éste expresa sus pensamientos, cuestionamientos o inquietudes tanto de la época como del autor, el coro se lamenta y usa dos veces *ōmoi*:

¡Ay de mí (*ōmoi*), y de mis hijos! ¡Ay de mí (*ōmoi*), y de mis padres y mi tierra que está abatida entre el humo, quemada, botín de guerra de los argivos! Yo en tierra extranjera ya soy llamada esclava, tras dejar Asia, recibiendo a cambio la morada de Europa, aposento de Hades. (Eurípides, 1991, vv. 475-483)

Esta intervención del coro reafirma la incertidumbre del futuro de Hécuba, ahora que está sola, sin su única hija que la acompañaba. Del mismo modo que hace Polixena, contrasta su pasado en la realeza con su desdicha actual. Polixena es sacrificada. En el segundo episodio de la tragedia, Taltibio va a buscar a Hécuba y ella reacciona así:

¡Ay de mí! (*oímoi*) ¿Qué vas a decir? ¿Que no has venido en busca mía para que yo muera, sino para anunciarme males? Muerta estás, oh hija, después de haber sido arrebatada a tu madre. Y yo sin hijos, por lo que a ti hace. ¡Oh desgraciada de mí!... (Eurípides, 1991, vv. 511-514)

Hécuba sufre no solo por su futuro, sino por no haber podido cuidar a su hija. De esta manera hemos revisado todas las veces que Polixena, Hécuba y el coro exclaman el grito *oímoi* en relación con la situación desdichada de estas (primera parte de la tragedia *Hécuba*), y podemos afirmar que esos gritos tienen que ver con el cuidado mutuo. Además, vimos que el cambio de parecer de la primera (ya no vuelve a gritar de esa manera) complementa la agencia de ambas en el ámbito público de la tragedia.

• Sufrimiento individual

En el tercer episodio de la tragedia, Hécuba había mandado a una esclava a recoger agua para lavar el cadáver de Polixena, pero esta llega con el cadáver de Polidoro y entabla un *kommós* con Hécuba, dentro del cual ella dice:

¡Ay de mí (*oímoi*)! Veo ya muerto a mi hijo, a Polidoro, a quien un tracio lo protegía en su palacio. Me he perdido, ¡desgraciada de mí!, y ya no existo. ¡Oh hijo, hijo! ¡Ay, ay (*ai ai*)! Comienzo un compás báquico, recién informada de mis desgracias por un espíritu maligno. (Eurípides, 1991, vv. 681-687)

El “compás báquico” se refiere a un paroxismo intenso de dolor. López Férez, traductor de *Hécuba* para la editorial Gredos, explica que “La agitación de Hécuba se refleja, en el texto griego, en la métrica. Se usa el verso docmiaco, que es adecuado a estos momentos de intensa agitación.

Los lamentos líricos se mezclan con el recitado” (1991, nota 29). Tal vez por ello la expresión del lamento aquí no sea *oímoi*, sino *aiái*, que refleja más desesperación e intensidad que dolor.

Después de esta reacción, la esclava le cuenta que el mar había expulsado el cadáver de Polidoro y Hécuba reacciona de la siguiente manera, todavía dentro del *kommós*: “¡Ay de mí! ¡Ay, ay! (*ōmoi aiái*) He comprendido la ensoñada visión de mis ojos —no se me pasó el espectro de negras alas—, la que yo vi en torno a ti, oh hijo, que ya no estabas en la luz de Zeus” (Eurípides, 1991, vv. 702-707). Como vemos, cuando se da cuenta de la situación, después de la intensidad de la primera reacción, entonces utiliza ambas expresiones, *ōmoi* y *aiái*. Así que, si bien sigue expresando dolor intenso, tal vez descontrolado, también es una queja más razonada, puesto que ha entendido que el rey Poliméstor ha traicionado a su hijo que estaba con él en calidad de huésped.

La hospitalidad en Grecia era una obligación que debían mostrar todos los ciudadanos; esto se puede ver en diversos textos. Por ejemplo, en el Económico de Jenofonte (1993), Sócrates dice a Critobulo: “tu rango te exige dar hospitalidad a muchos extranjeros y a tratarlos con magnificencia” (II.5). También en las tragedias se puede ver, como en Alceste, cuando, en medio del dolor que sufre Admeto por la muerte de su esposa, acoge en su palacio, sin contarle lo que está pasando, a Heracles, que está de paso. Así que se puede pensar que este sufrimiento de Hécuba está doblemente justificado: era su hijo y Poliméstor faltó a dicha obligación. Sigue otro *kommós* entre Hécuba, la esclava y el coro (Eurípides, 1991, vv. 684-722), en donde este último le pregunta a la primera sobre su actuar: “¡Ay de mí! ¿Qué vas a decir? ¿Para poseer el oro al matarlo?” (Eurípides, 1991, v. 713). Este lamento parece reforzar la gran injusticia que cometió el rey de Tracia.

Quizá, debido al hecho de que la mujer no podía actuar socialmente sin un guardián (*kurios*), Hécuba le pide ayuda a Agamenón en su venganza. Cuando éste le pregunta si lo que desea es ser libre, ella le dice: “No, por cierto, sino que, cuando castigue a los malvados, quiero ser esclava toda mi vida” (Eurípides, 1991, vv. 756-757). Así que se puede pensar que el lamento anterior conlleva también la gestación de la idea de actuar para vengarse. Ella le aclara que quiere que la vengue porque Poliméstor había matado a su hijo Polidoro, y le cuenta lo sucedido. Al ver que éste se aleja, ella exclama: “¡Ay de mí (*oímoi*), infeliz! ¿Adónde retiras tus pies? Parece que no voy a conseguir nada. ¡Oh infeliz de mí!” (Eurípides, 1991, vv. 812-813). Se lamenta pensando en que quizá no podrá llevar a cabo su justa venganza.

Agamenón le contesta que no puede hacer que los griegos se venguen por ella porque los tracios son sus aliados, pero que, dado que ella tiene razón, la ayudará dejando que ella se vengue por sí misma, lo cual resulta un hecho fuera de la norma, lo cual es explicado por Helene Foley (2001) al decir que la tragedia no respeta las restricciones impuestas por la sociedad clásica a las mujeres, incluso tomar decisiones sin un *kurios* (p. 8).

Hécuba manda llamar a Poliméstor, quien acude ante ella con sus dos hijos; los engaña diciéndoles que entren en las tiendas de las cautivas troyanas para que estas les hagan entrega de las riquezas que trajeron con ellas, y allí matan a los hijos y a Poliméstor lo dejan ciego. En los siguientes versos, Poliméstor usa la expresión *oímoi* cuatro veces en distintas intervenciones intercaladas entre él, Hécuba y el coro.

¡Ay de mí (*ōmoi*)! ¡Ciego me encuentro de la luz de mis ojos, desgraciado! (Eurípides, 1991, v. 1035)

¡Ay de mí (*ōmoi*) otra vez, hijos, por vuestra dego-llación angustiada! (Eurípides, 1991, v. 1037)

¡Ay de mí (*ōmoi*)! ¿Por dónde he de ir? ¿Por dónde me he de parar? (Eurípides, 1991, v. 1056)

¡Ay de mí (*ōmoi*), qué gran afrenta! ¿Adónde me he de volver? (Eurípides, 1991, v. 1098)

Tal como leemos, Poliméstor se lamenta por su situación y la de sus hijos, ya muertos. A causa de sus gritos, llega Agamenón, a quien él le dice: “¡Ay de mí (*ōmoi*)! ¿Qué vas a decir? ¿Acaso está cerca en algún sitio [Hécuba]? Indícame, dime dónde está para que, arrebatándola con mis manos, la destroce y le ensangrienta el cuerpo” (Eurípides, 1991, vv. 1124-1126). El rey de Tracia quiere vengarse, a su vez, de Hécuba.

Poliméstor primero y después Hécuba dan sus argumentos ante Agamenón para defender lo que han hecho. Este le da la razón a ella, puesto que el primero mató a un huésped para quedarse con el oro. Poliméstor replica: “¡Ay de mí (*oímoi*)! Quedando yo por debajo de una mujer esclava, según parece, rendiré justicia a gentes de peor calidad [...] ¡Ay de mí (*oímoi*) por estos hijos y por mis ojos, infeliz de mí!” (Eurípides, 1991, vv. 1252-1253, 1255).

Como una especie de venganza, Poliméstor maldice a Hécuba diciéndole que se transformará en un perro (v. 1265) y a Agamenón que será asesinado por su propia esposa (Eurípides, 1991, v. 1277). Dué (2006) explica que, aunque la visión más común de esta transformación en perra es que es emblemática de la degradación causada por la guerra, algunos académicos han desafiado esta interpretación, proponiendo, en cambio, que el significado de la perra es que es ferozmente maternal. Estos académicos argumentan que la obra trata sobre la fuerza de carácter de Hécuba a través del sufrimiento y que el simbolismo del perro la presenta como una protectora siempre atenta de sus hijos (p. 119).

En el seguimiento de esta idea, se puede comprender el cuidado que profesa Hécuba hacia sus hijos en esta tragedia. Afirma Loraux (1998) en esta misma dirección:

Hécuba entonces actúa: realiza el *ergon* de una mujer; y si las mujeres troyanas que matan con alfileres son “perras” para Poliméstor, [ratifica] sería buena idea tener en cuenta que una perra es una Erinia solo porque es madre completa. Más adelante, además, Hécuba se convertirá en una perra en el barco que

la lleva a Grecia. La madre en duelo ha cumplido su destino. (p. 50)

Entonces, hemos revisado, en esta segunda parte de la tragedia *Hécuba*, que los lamentos de Poliméstor son básicamente por un sufrimiento individual, por perder a sus hijos y por lo que le sucede físicamente; no menciona ningún futuro para los hijos que pudiera añorar, ni su compañía ni su ausencia. Además, el dolor que padece es justificado por todos los personajes.

CONCLUSIONES

Resulta de importancia tener presente, como ya anotamos, que la función social del teatro en Grecia era muy distinta a la que tiene hoy en día, dado que este género literario tuvo una influencia fundamental en la educación de la sociedad, especialmente de las clases altas (que fueron las que crearon los testimonios con los que hoy trabajamos para su estudio). Para lograr esa educación, los autores de las obras buscaban la manera de que los espectadores empatizaran con los personajes, lo que Aristóteles (Poética, 2011, 1449b.27-28) llamó “catarsis”. Es por ello que resulta imprescindible el estudio de la forma en que esos personajes actuaron frente a diversas situaciones.

Debido a lo anterior, las tragedias han sido estudiadas por siglos; no obstante, las nuevas perspectivas con perspectiva de género y feministas siempre serán necesarias para una nueva aproximación. El presente trabajo tuvo como objetivo ahondar en esta dirección.

Hemos visto que el grito *oímoi* u *ōmoi* fue uno de los que pronunciaron tanto hombres como mujeres en las tragedias. Específicamente, la aquí analizada, *Hécuba*, de Eurípides, muestra sufrimiento por parte de Hécuba, de Políxena, de Poliméstor y del coro (conformado por mujeres). Después de una revisión de la obra podemos afirmar, en consonancia con lo que otras investigaciones también han mostrado, que el grito tiene una función importante en la agencia de los personajes; esto es, hace que la acción continúe y tenga sentido hasta llegar a la mencionada “catarsis”.

Dentro del sentido del grito *oímoi*, vimos que Hécuba y Políxena gritan por la noticia del sacrificio de la primera, poniendo énfasis en el cuidado que ambas se tienen. El pasaje analizado ilustra como la primera incluso intenta ser ella la sacrificada para poder salvar a su hija; sin embargo, no lo logra. Y la segunda, después de la reacción automática de la noticia, recapacita y abandona el sufrimiento para morir dignamente en nombre de la libertad, lo cual tiene una repercusión en la gloria que no solo ella, sino también su madre, obtienen por ello. Se comprende a través de ello

que la secuencia de estos hechos logra que, en medio de dichos gritos, aparezca una agencia femenina digna de reconocimiento social. Se podría incluso pensar que su esclavitud y sufrimiento se convierten en libertad y gloria a través de esa acción.

Por otro lado, en la segunda parte de la tragedia, el que sufre es el rey Poliméstor debido a la injusticia que había cometido en contra de Polidoro. No hay justificación para lo que hizo, pero sí para la venganza de Hécuba. El sufrimiento del rey es inútil, no hay ninguna redención posible. Esta, quizá, sea la única ocasión en la que, en una obra griega de época clásica, una mujer lleva a cabo una venganza con tanto sentido; y plantea una forma distinta de ver a las mujeres vengativas de la tragedia, como Medea o Clitemnestra, que han sido históricamente consideradas como de actuación “histérica” o “arrebatada”.

Así, queda clara la agencia que Hécuba y Políxena ejercen en el ámbito social. Es un ejemplo de cómo, mediante la expresión de una emoción, con un grito, se representó a las mujeres en el teatro griego ejerciendo una agencia social. En la guerra de Troya, como en todas las guerras, los hombres reciben una muerte rápida, en combate, pero las mujeres son condenadas a una violencia humillante que las degrada y las condena a violaciones constantes y a agresiones no solo a ellas, sino a sus hijos. De ahí que, por ejemplo, Carson, en su magistral cómic de *Las mujeres troyanas*, retrate, a partir de una perspectiva feminista, a estas mujeres como perras, considerando lo que hemos explicado a propósito de la profecía de Poliméstor al final de la obra aquí analizada. En estos marcos de violencia ejercida por hombres, especialmente cruda hacia las mujeres, en *Hécuba*, una de ellas logra venganza a partir de una manifiesta agencia social.

De esta manera, podemos pensar, tal como afirma Lovell, que las mujeres también acumulan algún tipo de capital en el espacio social, sin importar que este se encuentre marcado por la desigualdad de género. Es decir, las mujeres no son solo “objetos” de los cuales se apropian los hombres sino, más bien, sujetos/objetos que llegan a invertir en los recursos que el sistema les proporciona para hacer negociaciones (citado en Villanueva Gutiérrez, 2019, p. 161). Así, Hécuba y Políxena pueden dejar de considerarse un objeto sumiso y pasivo para ser consideradas agentes que tuvieron una clara influencia en el desarrollo de actos valientes en la tragedia.

Hemos visto, entonces, que, con una mirada teórica y metodológica diferente, se puede considerar a las mujeres representadas en las tragedias griegas de época clásica con características individuales que sobrepasan la generalización de que todas ellas fueron sumisas y pasivas ante la opresión de los hombres.

REFERENCIAS

- Ahmed, S. (2014). *The Cultural Politics of Emotion* (2nd edition). Edinburgh University Press.
- Aristóteles (2011). *Poética. Magna moralia* (Poetics. Great Morality) (T. Martínez y L. Rodríguez, Trads.). Gredos.
- Bandura, A. (2001). *Social Cognitive Theory: An Agentic Perspective*. *Annual Review of Psychology*, 52, 1-26. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.52.1.1>
- Domínguez Ruiz, A.L.M. (2022). *Una historia cultural del grito* (A cultural history of the scream). Taurus.
- Duè, C. (2006). *The Captive Woman's Lament in Greek Tragedy*. University of Texas Press.
- Eurípides (1991). *Tragedias. El Cíclope-Alceste-Medea-Los Heraclidas-Hipólito-Andrómaca-Hécuba* (Tragedies. The Cyclops-Alcestis-Medea-The Heracleidae-Hippolytus-Andromache-Hecuba) (A. Medina González y J.A. López Férrez, Trads.). Gredos.
- Foley, H.P. (2001). *Female acts in Greek tragedy*. Princeton University Press.
- Jenofonte (1993). *Recuerdos de Sócrates. Económico. Banquete. Apología de Sócrates* (Memorabilia. Economic. Symposium. Apology of Socrates) (J. Zaragoza, Trad.). Gredos.
- Konstan, D. (2015). *Affect and Emotion in Greek Literature*. In: *Oxford Handbook Topics in Classical Studies* (pp. 1-16). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199935390.001.0001>
- Konstan, D. (2016). Understanding Grief in Greece and Rome. *Classical World: A Quarterly Journal on Antiquity*, 110 (1), 3-30. <https://dx.doi.org/10.1353/clw.2016.0066>
- Konstan, D. (2020). Afterword: The Invention of Emotion? En: L. Candiottio & O. Renaut (Eds.). *Emotions in Plato* (pp. 372-381). Brill. <https://doi.org/10.1163/9789004432277>
- Liddell, H.G & Scott, R. (1882). *Greek-English Lexicon* (8th ed.). American Book Company. <https://archive.org/details/greekenglishlex00lidduoft>
- Loroux, N. (1998). *Mothers in Mourning* (C. Pache, Trad.). Cornell University Press.
- Macón, C. (2013). Sentimus ergo sumus. El surgimiento del “giro afectivo” y su impacto sobre la filosofía política (Sentimus ergo sumus. The emergence of the “affective turn” and its impact on political philosophy). *Revista Latinoamericana de Filosofía Política*, 11(6), 1-32. <https://rlfp.org.ar/revista/index.php/RLFP/article/view/49/34>
- Rodríguez Cidre, E. (2024). La emoción del dolor y su gestualidad en el lamento de la párodos de Ifigenia entre los tauros (The emotion of pain and its gestures in the lament of Iphigenia's parodos among the Taurians). *Synthesis*, 31(1-2). <https://doi.org/10.24215/1851779Xe147>
- Sebillotte Cuchet, V. (2015). Regímenes de género y Antigüedad griega clásica (siglos V-IV a.C.) [Gender Regimes and Classical Greek Antiquity (5th-4th centuries BC)] (M. Muñoz, Trad. y A. Iriarte, Ed.) *Revista de Historiografía* (22), 51-88. <https://e-revistas.uc3m.es/index.php/REVHISTO/article/view/2646>
- Villanueva Gutiérrez, E.M. (2019). Deseché sus besos. Agencia, emociones y cuerpo en dos historias de mujeres michoacanas separadas de parejas violentas. En: S. González Montes (Coord.). *Subjetividad, agencia femenina y representaciones de género: tres propuestas para su estudio* [I rejected their kisses. Agency, emotions, and body in two stories of women from Michoacán separated from violent partners. In: S. González Montes (Coord.). Subjectivity, female agency, and gender representations: three proposals for their study] (pp. 153-241). El Colegio de México.
- Vovolis, Th. (2009). *Prosopon. The acoustical mask in Greek Tragedy and in Contemporary Theatre. Form, Function and Appearance of the Tragic Mask and its relation to the Actor, Text, Audience and Theatre Space*. Dramatiska institutet.
- Wohl, V. (2005). Tragedy and feminism. En: R. Bushnell (Ed.). *A companion to tragedy* (pp. 145-160). Willey-Blackwell.

Moldes polivalentes: más producto, menos inversión

Martha Angélica Cano Figueroa; Elsa Maria de la Calleja Mora;
Hugo Arcos Gutiérrez; Víctor Hugo Mercado Lemus

RESUMEN

En el presente capítulo se presenta el diseño, fabricación e implementación de un molde polivalente y parametrizable para fundición a gravedad, como una solución innovadora ante los desafíos de flexibilidad y costo en la industria manufacturera. Esto frente a un paradigma tradicional de moldes unitarios por pieza, ya que este sistema permite la fabricación de múltiples geometrías (mínimo 22 distintas) mediante un único conjunto, optimizando recursos, espacio y tiempo de producción. La metodología, analítica y experimental, incluyó el desarrollo de un prototipo funcional probado en una línea piloto, donde se validó su desempeño operativo. Los resultados demostraron una alta eficiencia técnica en materia de ensamblaje, en precisión y en maniobrabilidad. Desde una perspectiva económica, aunque el costo de fabricación del molde polivalente fue una cuarta parte superior al de un molde unitario convencional, el ahorro global alcanza y elimina la necesidad de múltiples moldes específicos. Se concluye que este sistema representa una alternativa viable y escalable, que alinea la fundición con los principios de la manufactura avanzada y la Industria 4.0, mejorando la productividad y facilitando la migración hacia modelos de producción más flexibles y rentables.

Palabras clave: moldes polivalentes, fundición a gravedad, parametrización, eficiencia manufacturera.

Cómo citar: Cano, M., de la Calleja, E., Arcos, H., Mercado, V. (2026). Moldes polivalentes: más producto, menos inversión. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto14>

Multipurpose molds: more product, less investment

ABSTRACT

In this chapter, the design, manufacturing, and implementation of a multipurpose and parameterizable mold for gravity casting are presented as an innovative solution to the challenges of flexibility and cost in the manufacturing industry. In contrast to the traditional paradigm of single molds for each piece, this system allows the production of multiple geometries (a minimum of 22 different ones) using a single set, optimizing the resources, the space, and the production time. The methodology, of an analytical and experimental nature, included the development of a functional prototype tested on a pilot line, where its operational performance was validated. The results demonstrated high technical efficiency in assembly, precision, and maneuverability. From an economic perspective, although the manufacturing cost of the multipurpose mold was one quarter higher than that of a conventional single mold, the overall savings are significant and eliminate the need for multiple specific molds. It is concluded that this system represents a viable and scalable alternative that aligns casting with the principles of advanced manufacturing and Industry 4.0, improving productivity and facilitating the transition toward more flexible and profitable production models.

Keywords: multipurpose molds, gravity casting, parameterization, manufacturing efficiency.

INTRODUCCIÓN

La evolución de los procesos de fundición ha sido clave en el desarrollo de la manufactura moderna, especialmente en sectores donde cuestiones como la precisión, la eficiencia y la adaptabilidad son fundamentales. En este contexto, el diseño e implementación de moldes polivalentes y parametrizables representa una innovación significativa que responde a las exigencias de la producción industrial contemporánea. Estos moldes permiten la fabricación de múltiples piezas con geometrías diversas, optimizando recursos, espacio y tiempo, y facilitando la transición hacia modelos de producción más flexibles y escalables.

La planificación de proyectos de fabricación de piezas fundidas requiere metodologías estructuradas que garanticen la viabilidad técnica y económica del proceso. En este sentido, Goncalves y Chaves (2000) hacen la propuesta de un enfoque sistemático para la elaboración de proyectos, considerando parámetros críticos como diseño del molde, control térmico y selección de materiales. De manera complementaria, estudios recientes destacan la relevancia de los moldes en la producción industrial moderna, señalando su papel fundamental en la optimización de ciclos y reducción de costos (Iberian Press, 2025). Esta combinación de perspectivas permite consolidar estrategias que integran principios tradicionales con innovaciones actuales en la industria de la fundición.

La presente investigación tiene como objetivo el diseño, fabricación e implementación de un molde polivalente para fundición a gravedad, capaz de adaptarse a diferentes configuraciones geométricas mediante parametrización. Esta

propuesta busca maximizar la productividad, perfeccionar el proceso de fabricación y reducir los costos generales asociados a la producción de moldes unitarios. Como señalan Mir-Labrada et al. (2023), “el empleo repetido del mismo molde para obtener un gran número de piezas iguales permite una elevada productividad, precisión dimensional y reducción de materiales fundidos” (p. 145).

La metodología empleada fue de carácter analítico, físico y experimental. Se desarrolló un prototipo funcional que fue sometido a pruebas en una línea de producción piloto, evaluando su maniobrabilidad, repetibilidad y eficiencia. Los resultados obtenidos fueron contundentes: una eficiencia global de ensamblaje del 97 %, precisión del 96 % y maniobrabilidad del 98 %, lo que demuestra la viabilidad técnica del sistema. Además, este molde permitió la fabricación mínima de 22 piezas distintas, con previsión de alcanzar hasta 26, en contraste con el igual número de otros moldes unitarios que tradicionalmente serían necesarios.

Desde una perspectiva económica, aunque el coste de fabricación del molde polivalente fue un 25 % superior al de un molde convencional, el ahorro global fue del 88 % al considerar la sustitución de múltiples moldes unitarios. Este hallazgo coincide con lo expuesto por Ruiz Sánchez et al. (2024), quienes llaman la atención de que “la integración físico-digital y la parametrización de moldes permiten mantener bajo control la producción con alta efectividad, reduciendo defectos y optimizando el proceso” (p. 78).

No obstante, la implementación de este tipo de moldes requiere una capacitación adecuada de los operarios, así

como una inversión inicial más elevada. Estas limitaciones deben ser consideradas en el diseño de estrategias de adopción tecnológica en entornos industriales. Como estudios recientes han demostrado, la eficiencia y repetibilidad de los moldes parametrizables pueden ser validadas mediante simulaciones y pruebas físicas, lo que garantiza su aplicabilidad en procesos de producción masiva.

En conclusión, el molde polivalente parametrizable representa una solución innovadora y eficiente para la fabricación de piezas diversas mediante fundición a gravedad. Su implementación no solo mejora la productividad y reduce los costos, sino que también abre nuevas posibilidades para la manufactura flexible y escalable, alineándose con los principios de la Industria 4.0.

Contexto y justificación

La industria de la fundición enfrenta desafíos crecientes en cuanto a flexibilidad, eficiencia y reducción de costos. Tradicionalmente, cada pieza requiere un molde específico, lo que implica altos costos de fabricación, almacenamiento y mantenimiento. En respuesta a esta problemática, se propone el desarrollo de un molde de tipo polivalente y parametrizable, capaz de adaptarse a múltiples geometrías sin necesidad de reemplazo físico. Esta solución se alinea con los principios de la manufactura avanzada y la Industria 4.0, que promueven la personalización masiva y la optimización de recursos (Sánchez Carrión et al., 2022; Ruiz Sánchez et al., 2024).

Objetivo

El propósito consiste en el diseño, fabricación e implementación de un molde polivalente y parametrizable para fundición a gravedad, con el fin de optimizar las tareas de producción, maximizar la productividad de piezas diversas y perfeccionar el proceso de fabricación, facilitando la migración hacia nuevas formas de fabricación masiva.

METODOLOGÍA

La metodología para esta investigación de enfoque mixto combinó métodos analíticos, físico-mecánicos y experimentales, siguiendo un diseño que integra análisis funcional, simulaciones y pruebas de prototipos previas a su implementación (Dong et al., 2025). Se estructuró a partir de un análisis funcional y estructural según Bush et al. (2019), que definió los requisitos técnicos y operativos del molde polivalente, guiando cada etapa del desarrollo. Inicialmente, se elaboró un modelado CAD parametrizable conforme a Cano Figueroa y Pérez Bustamante (2022), lo que permitió diseñar cavidades ajustables y una arquitectura modular, facilitando la reconfiguración geométrica y sentando las bases para la reutilización del sistema en múltiples piezas, reduciendo así los costos asociados a la fabricación de moldes unitarios.

La selección de materiales contempló criterios de resistencia térmica, durabilidad y precisión dimensional. La misma sigue enfoques de optimización termo-mecánica

que incorporan simulaciones acopladas térmicas y estructurales conformes (Djabraian et al., 2024; Pei et al., 2025). Asimismo, se consideraron propiedades clave como coeficientes de expansión térmica y módulo elástico para minimizar deformaciones y garantizar precisión, tal como lo plantean Hitzler et al. (2022), optándose por acero H11 ESR con insertos de acero al carbono, por su excelente comportamiento ante ciclos térmicos y capacidad para mantener tolerancias estrechas. La fabricación combinó maquinado de alta precisión, como rectificado y ajuste de tolerancias, con técnicas inspiradas en fundición a la cera perdida, que aseguran la integridad estructural y el acabado dimensional requerido. Para validar el diseño, se construyó un prototipo funcional en madera de pino a partir del modelo CAD, sometiénolo a pruebas de ensamble que confirmaron la compatibilidad geométrica y la interacción correcta entre módulos.

Posteriormente, el molde fue implementado en una línea piloto de manufactura, donde se evaluaron su desempeño operacional, maniobrabilidad y repetibilidad, siguiendo criterios similares a los reportados por Flores Benítez y Núñez Silva (2022) en estudios de mejora continua en procesos de fundición. La validación de la integridad estructural se basó en simulaciones acopladas de carga térmica (Mikkelsen, 2023) y mecánica, además de inspecciones dimensionales postciclo. En particular, se utilizó un enfoque de simulación termomecánica de moldes con acoplamiento térmico-estructural para asegurar robustez y comportamiento estable bajo condiciones operacionales repetidas.



Figura 1. Detalle del proceso metodológico del molde polivalente.

Esta aproximación metodológica aseguró que el molde no solo cumpliera con las especificaciones técnicas, sino que también habilitara una producción flexible y económicamente eficiente mediante su reconfiguración y reutilización. Los detalles específicos de los parámetros de material, de tolerancias y de los resultados de las pruebas se documentan en los apartados técnicos correspondientes que siguen a continuación.

Análisis funcional y estructural

A su vez, Bush et al. (2019) describen métodos avanzados para la producción de piezas trabajadas que priorizan la integridad estructural y la optimización del flujo de material. Basándose en estos principios, en la fase inicial se aplicó un análisis funcional y estructural para definir los requerimientos técnicos del molde, asegurando que la modularidad y la intercambiabilidad se integraran como criterios fundamentales de diseño. Esta estrategia permite reducir tensiones residuales y mejorar la adaptabilidad del sistema, alineándose con prácticas industriales orientadas a la eficiencia y la calidad del producto.

La etapa de diseño del requerimiento se fundamentó en la premisa de que los moldes permanentes pueden ser reutilizados para la producción de un elevado número de piezas idénticas, con una capacidad estimada de hasta 40,000 ciclos de fundición, según estudios previos (Groover, 2012; Kalpakjian & Schmid, 2014; Cano-Figueroa et al., 2020).

Para este proyecto, se aplicó una delimitación funcional de los requerimientos técnicos, centrada en tres ejes principales: control dimensional, maximización de productividad y compatibilidad de ensamblaje para elementos impulsores de 203.2 mm de diámetro, con formas trapezoidales de 1 hasta 4 ranuras opcionales de 12.7 y 15.875 mm.

Se desarrolló un modelo base parametrizable, orientado específicamente a la fabricación de dispositivos, que sirviera como plataforma escalable para la generación de variantes posteriores. Este enfoque permitió establecer un marco de diseño modular, capaz de adaptarse a diferentes configuraciones sin comprometer la integridad estructural del molde, facilitando así su implementación en procesos de producción diversificada.

Modelado CAD

Para el desarrollo geométrico del molde polivalente, se emplearon herramientas de Diseño Asistido por Computadora (CAD), específicamente SolidWorks y AutoCAD, con el objetivo de construir un sistema de cavidades ajustables mediante parametrización geométrica (Mikkelson, 2023). Ello permitió configurar el molde para múltiples tipos de piezas sin necesidad de modificar su estructura base, lo cual optimiza la reutilización y la adaptabilidad del sistema.

El modelado incluyó la definición de un arreglo final de configuración para cada elemento impulsor, así como la identificación de las piezas constitutivas del sistema. Se establecieron los parámetros críticos de configuración dimensional, necesarios para garantizar la precisión en el alcance de ranuras opcionales y zonas de ajuste.

La Figura 2 ilustra el modelo CAD completo, donde se presentan las variantes requeridas para cada configuración polivalente del molde. También se detallan los accesorios de sujeción y cierre, diseñados conforme a los requerimientos de ensamblaje modular. Estos elementos permiten una integración eficiente durante el montaje del molde, asegurando la compatibilidad entre componentes y la estabilidad operativa en condiciones de producción.

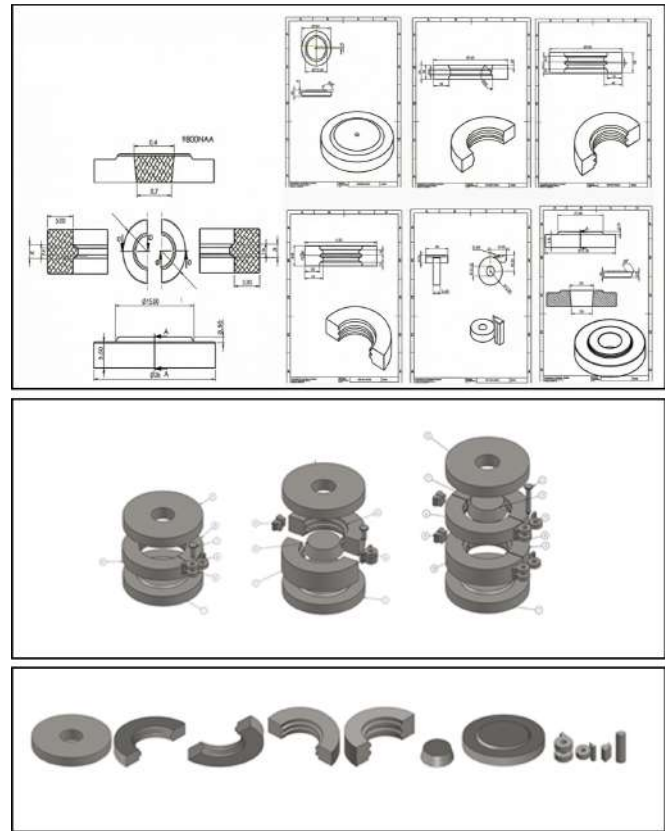


Figura 2. Detalle individual para cada componente y ensamble del sistema polivalente.

Selección de materiales

La selección del material para la fabricación del molde polivalente se realizó mediante un análisis comparativo de propiedades térmicas, mecánicas y de manufacturabilidad (Djabraian et al., 2024; Pei et al., 2025), considerando las exigencias del proceso de fundición a gravedad y centrífuga. Como resultado, se eligió el acero H11 ESR (Electro Slag Remelting), clasificado bajo la norma DIN 1.2343 y equivalente a ASTM A681-08, por sus propiedades superiores en condiciones de trabajo en caliente, alta tenacidad, resistencia a la fatiga y comportamiento isotrópico.

Este tipo de acero presenta bajos niveles de inclusiones no metálicas y una composición química controlada, lo que lo hace especialmente adecuado para moldes sometidos a ciclos repetitivos de fundición. Su estructura es refinada mediante el proceso ESR lo que garantiza una mayor homogeneidad interna y una reducción significativa de defectos estructurales, mejorando así la estabilidad dimensional y la durabilidad del molde.

La composición química del acero H11 incluye aproximadamente 0.33 % de carbono, 0.80 % de silicio, 0.20 % de manganeso, 4.75 % de cromo y 1.10 % de molibdeno, con niveles mínimos de fósforo y azufre (0.020 %), lo que contribuye a su resistencia al desgaste y a la compresión. Se suministra en estado recocido con una dureza de 235 HB

(-99 HRB), lo que permite su uso directo sin necesidad de tratamiento térmico adicional.

Para la fabricación del molde se requirieron 125 kilogramos de acero H11 ESR, cantidad calculada en función del volumen total del sistema modular, los espesores de seguridad y las zonas críticas reforzadas con insertos de acero al carbono.

Desde el punto de vista de manufactura, el acero H11 ESR ofrece excelente maquinabilidad, siendo compatible con procesos de fresado CNC, torneado, rectificado y electroerosión (EDM). Estas características permiten alcanzar altos niveles de precisión dimensional y acabados superficiales óptimos en las cavidades del molde. Además, su buena conductividad térmica favorece la disipación de calor durante el proceso de fundición, contribuyendo a la reducción de defectos térmicos en las piezas producidas.

La elección de este material se alineó con los objetivos del proyecto, al proporcionar una solución robusta, versátil y eficiente para la fabricación de un molde polivalente capaz de adaptarse a múltiples configuraciones, manteniendo la calidad, la repetibilidad y la longevidad del sistema.

Equivalencia	ASTM 681-08: H11		DIN 1.2343 (X37CrMoV5-1)				JIS SKD 6	
Composición Química:	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%V	%P	%S
	0.33-0.43	0.80-1.25	0.20-0.60	4.75-5.50	1.10-1.60	0.30-0.60	<= 0.030	<= 0.030
Condición de Suministro	Recocido a una dureza máxima de 235 HB (-99HRB)							
Propiedades Físicas:	Conductividad térmica			Coeficiente de expansión térmica				
	0 – 200 °C		0 – 400 °C	0 – 400 °C			0 – 600 °C	
	27.8W/m°C		27.3W/m°C	12.7 x 10 ⁻⁶ / °C			12.9 x 10 ⁻⁶ / °C	
	192 BTU in / ft ² h °F		190 BTU in / ft ² h °F					
Propiedades mecánicas (aprox. A temperatura ambiente):	Dureza		52 HRC		45 HRC			
	Resistencia a la tensión MPa (psi)		1,800 (261,000)		1,510 (222,000)			
	Límite elástico:		1,400 (203,000)		1,200 (175,000)			

Figura 3.

Características del acero H11 SCR utilizado como material para la fabricación del molde. Cortesía: KIND&CO EDELSTAHLWERK, Serviaceroespeciales.

Prototipado de molde

La fase de prototipado se inició mediante tecnología de Prototipado Rápido (Rapid Prototyping, RP), con el propósito de validar el diseño geométrico y funcional del molde antes de su fabricación definitiva (Cano Figueroa et al., 2020). A partir del modelo 3D generado en CAD, se controlaron los parámetros geométricos y dimensionales necesarios para garantizar la precisión en las cavidades y componentes del sistema. Esta práctica se fundamenta en estudios recientes que destacan la capacidad del RP para detectar deformaciones volumétricas, así como para optimizar tolerancias en moldes funcionales antes de su construcción en metal (Rao et al., 2025; Stampone et al., 2024).

El material seleccionado para el prototipo fue madera de pino blanco (*Erblichia odorata*), debido a sus propiedades físicas adecuadas para construcción técnica, como una

gravidad específica promedio de 0.50 y una densidad de 870 kg/m³ a 75 % de humedad, según Villaseñor (2016). Las piezas fueron obtenidas mediante corte láser directo desde los archivos CAD, generando nueve componentes principales: base, tapa, inserto y ranuras.

Con posterioridad, se realizó el rectificado y ajuste dimensional de las piezas mediante Manufactura Rápida (Rapid Manufacturing, RM), mediante la utilización de procesos de torneado y refrentado para alcanzar las tolerancias requeridas, con una reducción del 5 % respecto al diseño original como margen previo al acabado final. Este proceso permitió obtener superficies con excelente calidad y precisión dimensional, listas para pruebas funcionales previas a la fabricación permanente, como se muestra en la Figura 4.

Para simular condiciones metálicas y mejorar la resistencia superficial del prototipo, se aplicó una técnica complementaria de prototipado mediante procesado directo por luz (Direct Light Processing, DLP). Un proveedor especializado proyectó el modelo 3D en formato STL sobre las piezas de madera, utilizando resinas fotocurables que se solidificaron capa por capa mediante acción capilar, sin necesidad de planarización. Este tratamiento permitió obtener acabados superficiales adecuados, protección en zonas de contacto y una aproximación precisa a las características del molde final.



Figura 4.

Prototipado de piezas del molde.

Fabricación y pruebas del molde

Las piezas fundidas en acero H11 ESR, en estado recocido, incluyó piezas de geometría redonda, recta, cónica, curvada y ranurada, alcanzaron una maquinabilidad y rectificabilidad aproximada del 70 %, lo que permitió su procesamiento eficiente mediante técnicas de mecanizado convencional y CNC, logrando ajustes dentro de las tolerancias dimensionales características: finas de 0.025–0.13 mm y basto de 0.13

mm, conforme a los estándares de precisión requeridos para moldes de alta repetibilidad, como se muestra en la Figura 5 a detalle del proceso.

Para validar la fidelidad geométrica del sistema, se realizó una comparación entre los modelos diseñados, prototipados, fundidos y maquinados, con el objetivo de determinar el grado de coincidencia dimensional entre: el diseño original, el prototipo físico y las piezas finales.

Este análisis permitió establecer una coincidencia geométrica mínima del 97 %, calculada sobre el modelo positivo, considerando una tolerancia funcional de ± 3 %.

Se realizaron pruebas de compatibilidad estructural entre los componentes críticos del molde, específicamente en los cuerpos ranurados, la base y la tapa. Estas pruebas evidenciaron una coexistencia funcional completa, es decir, un ensamble preciso que garantiza la operatividad del sistema en condiciones reales de trabajo. La compatibilidad entre elementos impacta directamente en la ejecución del algoritmo de ensamblaje, así como en la integridad del modelo y los números de ranuras, alcanzando coincidencias de hasta el 98 % en algunos subconjuntos, lo que augura un desempeño óptimo en la futura línea de manufactura.

PROCESO	SUBPROCESO	ACTIVIDADES	RESULTADOS
Fundición	Moldeado a la cera perdida	Molde de cada pieza prototipada	
	Preparación de materiales	Acero, fundentes y desgasificantes	
	Colada	Vaciado de moldes y absorción de ceras	
	Procesado de piezas fundidas	Extracción de piezas, corte de bebederos y limpieza mecánica	
Maquinado	Torneado, refrentado y asentado	Ajuste de dimensional de superficies y ranuras de acuerdo a instrucciones de proceso	
	Barrenado - roscado	Dimensionado de barrenos y prisioneros de sujeción	
	Proceso de unión	Unión por soldadura de elementos de apertura	
Articulación y correspondencia	Ensamble	Identificadores por pieza, configuración de las piezas maquinadas	
Polivalencia del molde	Compatibilidad	Ensayo de afinidad geométrica por número de ranuras	
	Intercambiabilidad	Ensayo de coexistencia de las designaciones por número de ranuras	

Figura 5. Secuencia de fabricación y pruebas para el molde.

Implementación en línea piloto de manufactura

La implementación del molde para la producción de piezas de 203.2 mm de diámetro, de 1 a 4 ranuras trapezoidal, se realizó en una línea piloto de fabricación, fundidas en aluminio, con la intención de optimizar las tareas y técnicas de trabajo, maximizar la productividad de piezas diversas y perfeccionar un proceso de fabricación. Lo expuesto anteriormente se logró de forma analítica, física y experimental en el proceso de línea.

Inicialmente, dentro del proceso se realizaron estudios y proyecciones mediante la tecnología analítica de proceso PAT (Process Analytical Technology), aplicada en entornos de manufactura con monitoreo en tiempo real (Medendorp et al., 2022). Se complementó con el estudio estandarizado de métodos y tiempo MTM (Methods Time Measurement), reconocido por su eficacia en la optimización de tiempos y ergonomía en líneas de producción (Breznik et al., 2023). El diseño asistido del layout del área de proceso mediante CAD se fundamentó en simulaciones digitales para mejorar flujo y reducir desperdicios (Akar & Safiye, 2023).

El molde múltiple se evaluó mediante un método de prueba no destructiva (NDT), técnica clave para garantizar integridad estructural sin comprometer la pieza, que es ampliamente utilizada en manufactura avanzada (Hassani & Dackermann, 2023). Posteriormente, se procedió con la identificación del algoritmo y la configuración mecánica, la matriz de validación del proceso, las técnicas de habilitación de herramienta y la prueba del método de trabajo, a partir de lineamientos de validación sistemática en entornos de Industria 4.0 (Ghobakhloo et al., 2022).

Por último, se integró con la implementación en línea de fabricación, donde se realizaron las pruebas funcionales, de maniobrabilidad y de validación de repetibilidad por tipo, como se muestra a detalle en la Figura 6.

PROCESO	SUBPROCESO	ACTIVIDADES	RESULTADOS
Identificación área de manufactura	Lay-out de área de proceso	Inserción en línea de vaciado	
Configuración de algoritmo	Guía de ensamble	Comprobar número de piezas	
	Algoritmo para ensamble	Comprobar número de ranuras	
	Ensamble de las partes	Secuencia, orientación y posicionamiento	
Validación	Armado	Cierre con inserción de pernos de articulación	
	Desarmado	Apertura con extracción de perno de articulación	
		Apertura total	
Prueba experimental	Ciclo de manufactura	Precalentamiento y armado	
		Colada	
		Extracción, armado y repetibilidad	

Figura 6. Detalle de la implementación y validación del molde en línea piloto de manufactura.

Una vez completadas las corridas de fundición, se procedió a configurar cada arreglo geométrico del molde en función de las especificaciones dimensionales requeridas para las piezas. Esta etapa permitió validar la capacidad del sistema para adaptarse a múltiples configuraciones sin alterar su estructura base.

Las piezas fueron fabricadas de forma repetitiva, manteniendo la diversidad en el tipo de ranuras (trapezoidales A y B), y con el cumplimiento de los criterios de precisión establecidos.

En síntesis, tal como se resume en la Figura 7, se logró alcanzar el objetivo de producción con la fabricación de 22 piezas distintas, todas con una dimensión estándar de 203.2 mm, utilizando un único molde parametrizable. Este resultado confirma la eficacia del diseño modular en términos de versatilidad, repetibilidad y rendimiento operativo dentro del entorno de producción piloto.



Figura 7.
Producción masiva de piezas en el molde polivalente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación del molde polivalente permitió que se alcanzara una eficiencia global de ensamblaje del 97 %, con una precisión dimensional del 96 %, así mismo una maniobrabilidad operativa del 98 %, valores que reflejan un desempeño altamente satisfactorio en condiciones reales de producción. Estos resultados fueron posibles gracias a la capacitación anticipada del personal técnico, que optimizó las técnicas de operación en línea y facilitó el aprovechamiento de la intercambiabilidad estructural del molde.

La fidelidad geométrica obtenida permitió la fabricación de 22 piezas distintas a partir de un solo molde, con una proyección de alcanzar hasta 26 configuraciones funcionales, lo que representa una mejora sustancial frente a los sistemas convencionales, que requieren un molde unitario por cada tipo de pieza. Este avance evidencia la versatilidad y la escalabilidad del sistema, así como su capacidad para adaptarse a procesos de producción diversificada.

En términos económicos, aunque el coste de fabricación inicial del molde múltiple fue 25 % superior al de un molde convencional, el coste total se redujo en un 88 %, cuando se considera la suma de los moldes unitarios que reemplaza. Esta optimización financiera valida la viabilidad del sistema para su integración en líneas de producción masiva (Iberian Press, 2025), perfeccionando las técnicas de conformación de piezas fundidas por gravedad y consolidando un modelo de manufactura eficiente, adaptable y sostenible.

Durante la fase de implementación, se observó que la curva de aprendizaje asociada a la maniobrabilidad del molde polivalente difiere significativamente de la de los moldes tradicionales. Sin embargo, gracias al soporte del algoritmo de ensamblaje, esta diferencia se redujo progresivamente con el tiempo, mostrando una tendencia descendente en la complejidad operativa y una mejora continua en la eficiencia del armado.

La funcionalidad del molde fue evaluada en condiciones reales dentro de una línea de fabricación piloto, lo cual permite su comparación directa con el desempeño de moldes convencionales previamente utilizados, como se aprecia en la Figura 8.

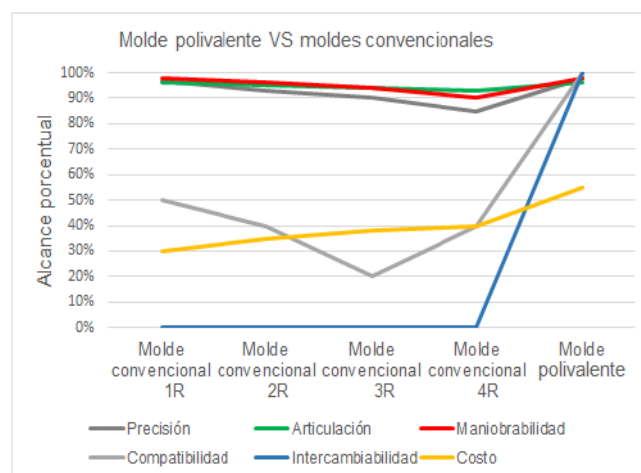


Figura 8.
Producción masiva de piezas en el molde polivalente.

La principal diferencia observada fue la intercambiabilidad y compatibilidad estructural entre los componentes del molde múltiple, que alcanzaron valores de 98 % a 100 %, frente a los rangos limitados de 0 % a 50 %, 0 % a 40 %, 0 % a 20 % y 0 % a 40 % registrados en moldes unitarios.

Asimismo, se evidenció una mejora sustancial en los parámetros de precisión, articulación y maniobrabilidad, especialmente en configuraciones con múltiples ranuras. Mientras que los moldes convencionales mostraban una disminución en el rendimiento conforme aumentaba la complejidad geométrica, el molde múltiple mantuvo una precisión mínima del 96 % y máxima del 98 %, incluso en configuraciones individuales, lo que confirma su robustez y estabilidad dimensional.

Desde el punto de vista económico, aunque el coste de fabricación del molde múltiple fue 25 % superior al de un molde convencional de una sola ranura, el coste global se redujo en un 88 %, al considerar la suma de los moldes unitarios necesarios para replicar todas las configuraciones incluidas en el arreglo múltiple. Esta diferencia representa una optimización significativa en términos de inversión, espacio y logística de producción.

Finalmente, la productividad del sistema fue validada mediante el número de piezas fabricadas por tipo de molde. Esto se advierte en la Figura 9, donde el molde múltiple permitió alcanzar el objetivo de conformado inicial con una relación de 22 piezas por un solo molde, en contraste con la necesidad de 22 moldes individuales en el sistema convencional, lo que consolida así su eficiencia y escalabilidad en procesos de manufactura avanzada.

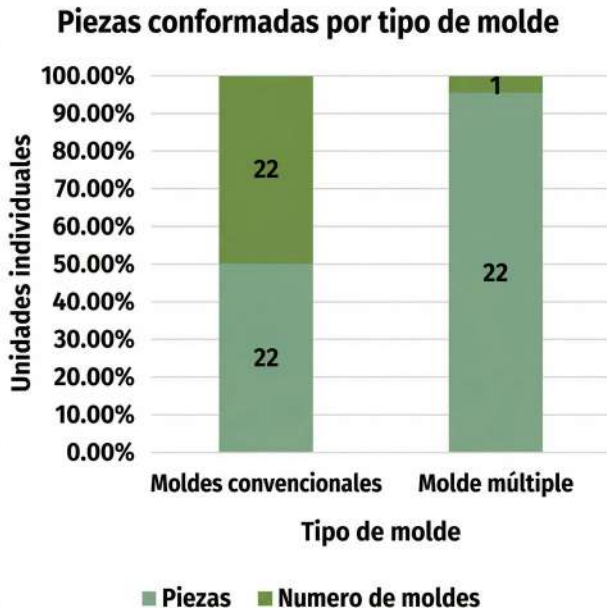


Figura 9. Producción máxima de piezas por tipo de molde.

CONCLUSIONES

La implementación del molde polivalente múltiple demostró ser una solución innovadora y de alta eficiencia en el contexto de la fundición por gravedad. Su diseño modular permitió validar su funcionalidad en una línea de producción real, maximizando la productividad dimensional y eliminando la necesidad de fabricar moldes unitarios específicos para cada tipo de pieza, lo que representa una mejora sustancial frente a los moldes convencionales utilizados de forma tradicional.

Un aspecto relevante obtenido como parte de los resultados es la apreciación de que el molde polivalente aportó una alta adaptabilidad geométrica y compatibilidad estructural, que se atribuye a su configuración algorítmica reutilizable, capaz de producir al menos 22 piezas diferentes con un solo sistema moldeable, todas bajo un mismo dimensionamiento estándar.

A diferencia de los moldes tradicionales, que requieren múltiples unidades para piezas distintas, el molde polivalente permite la fabricación de piezas múltiples con huellas múltiples, optimizando espacio, recursos y tiempo de operación.

Durante su implementación, se comprobó que el diseño y la fabricación del molde cumplían con los parámetros proyectados, alcanzando una eficiencia de ensamblaje del 97 %. La práctica operativa permitió reducir significativamente los tiempos de armado y desarmado, estabilizando la curva de aprendizaje derivada de la transición entre sistemas convencionales y modulares. Esta mejora operativa confirma la viabilidad del molde polivalente como mecanismo de conformación adaptable y funcional.

Los resultados alcanzados permiten constatar que a corto plazo, el sistema cumple con las exigencias de producción establecidas y, a mediano y largo plazo, se proyecta alcanzar desde 3000 hasta los 40,000 ciclos funcionales, manteniendo la calidad y repetibilidad del proceso. Además, aunque el coste de fabricación del molde fue 25 % superior al de un molde unitario sencillo, el coste global se redujo en un 88 %, al considerar la suma de los moldes convencionales que reemplaza, lo que valida su escalabilidad económica y técnica.

Para concluir, se comprobó que el estudio y rediseño de procesos de fabricación, apoyado en tecnologías como PAT, MTM y CAD, permite desarrollar moldes polivalentes adaptables a familias de productos. Dichos sistemas no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que representan una alternativa tecnológica viable para microempresas manufactureras, lo cual contribuye a la evolución de la manufactura nacional hacia modelos más rentables, flexibles y sostenibles.

Un aspecto que cabe adicionar como parte de las conclusiones del estudio es la finalidad de propiciar la migración a nuevas formas de fabricación masiva en molde y su correcta utilización, así como la inserción de moldes múltiples innovadores y diversificados dentro de las líneas de producción piloto.

REFERENCIAS

- Akar, Necip & Turgay, Safiye. (2023). Optimizing Cellular Manufacturing Facility Layout Design through Digital Twin Simulation: A Case Study. *Industrial Engineering and Innovation Management*. 6. 1-12. 10.23977/ieim.2023.060601.
- Breznik, M., Buchmeister, B., & Vujica Herzog, N. (2023). Assembly line optimization using MTM time standard and simulation modeling: A case study. *Applied Sciences*, 13(10), 6265. <https://doi.org/10.3390/app13106265>
- Bush, D.M., Regner, E.V., Kolvin, E.L., Mueller, L.N., Rioja, R.J., & Bodily, B.H. (2019). *Methods for producing forged products and other worked products*. <https://patents.google.com/patent/WO2015006447A1/en>

- Cano-Figueroa, M.A., Pérez Bustamante, R., & Moreno-Alta, M. (2020). Diseño de prototipo de molde multiparametrizable para manufactura rápida. *Revista Nthe, Edición Especial*, (34), 37-48. http://nthe.mx/NTHE_v2/pdfArticulos/PDF_Articulo20210114174100.pdf
- Cano-Figueroa, M. A., & Pérez Bustamante, R. (2022). Diseño y configuración de molde progresivo para dispositivos mecánicos de tracción (Progressive mold design and configuration for mechanical traction devices). *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica (RIIIT)*, 10(56), 17-32. <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/441>
- Djabraian, S., Teichmann, F., & Müller, S. (2024). Thermo Mechanical Optimization of Die Casting Molds Using Topology Optimization and Numerical Simulations. *Materials*, 17(9), 2114. <https://doi.org/10.3390/ma17092114>
- Dong, B., Wu, H., Wu, B., An, Z., Du, Y., Liu, X., & Zheng, W. (2025). Hybrid experimental design methodology for non destructive transfer of industrial scale frozen sand molds: An improved response surface approach with engineering validation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-025-15361-w>
- Flores Benítez, F.R., & Núñez Silva, G.B. (2022). Aplicación del Lean Manufacturing a una pequeña empresa de fundición metálica (Application of Lean Manufacturing to a small metal foundry). *E-IDEA 4.0 Revista Multidisciplinar*, 4(11), 18-30. <https://doi.org/10.53734/mj.vol4.id216>
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Vilkas, M., Grybauskas, A. y Amran, A. (2022). Drivers and barriers of Industry 4.0 technology adoption among manufacturing SME's: a systematic review and transformation roadmap. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33 (6), 1029-1058. <https://doi.org/10.1108/jmtm-12-2021-0505>
- Groover, M. P. (2012). *Fundamentos de manufactura moderna* (3ª ed.). Pearson Educación. <https://archive.org/details/GrooverFundamentosDeManufacturaModerna3edi>
- Goncalves, E. V., & Chaves, A. S. (2000). Una metodología para la elaboración de proyectos de fabricación de piezas fundidas. *Información Tecnológica*, 11(1), 3-10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642000000100001>
- Hassani, S., & Dackermann, U. (2023). A systematic review of advanced sensor technologies for non-destructive testing and structural health monitoring. *Sensors*, 23(4), 2204. <https://doi.org/10.3390/s23042204>
- Hitzler, L., Shahul Hameed, M.Z., Kah, A., Merkel, M., & Werner, E. (2022). Thermal expansion and temperature-dependent Young's modulus of Invar fabricated via laser powder-bed fusion. *Progress in Additive Manufacturing*, 7, 463-470. <https://doi.org/10.1007/s40964-022-00299-2>
- Iberian Press (2025, marzo 18). *El papel fundamental de los moldes en la producción industrial moderna* (The fundamental role of molds in modern industrial production). <https://www.iberianpress.es/noticia/el-papel-fundamental-de-los-moldes-en-la-produccion-industrial-moderna/62537>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S.R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson Education. <https://www.pearson.com/se/Nordics-Higher-Education/subject-catalogue/engineering/ManufacturingEngineering-and-Technology-7th-SI-Edition.html>
- Medendorp, J., Román-Ospino, AD, y Panikar, S. (2022). Rol de la tecnología analítica de procesos en la fabricación continua. En *Cómo diseñar e implementar sistemas de fabricación continua de polvo a tableta* (pp. 201-228). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813479-5.00005-7>
- Mikkelsen, D. (2023). *HYBRID modeling validation and verification status matrix*. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <https://doi.org/10.2172/2318699>
- Mir Labrada, V.M., García Hernández, T., Parada Expósito, A., Arzola Ruiz, J., Monzon Yepe, D., & Cuesta Figueroa, Y. (2023). Diseño y fabricación de un molde metálico para fundición de aluminio (Design and manufacture of a metal mold for aluminum casting). *Ingeniería Mecánica*, 26(1), 25-32. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442023000100025
- Pei, X., Hou, H., & Zhao, Y. (2025). A Review of Intelligent Design and Optimization of Metal Casting Processes. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 38(8), 1293-1311. <https://doi.org/10.1007/s40195-025-01891-5>
- Rao, H., Bai, X., Yan, W., & Liu, J. (2025). Rapid mold optimization based on ultraviolet curing 3D printing technology. *Frontiers in Materials*, 12, 1605771. <https://doi.org/10.3389/fmats.2025.1605771>
- Ruiz Sánchez, J.A., Arcos Gutiérrez, H., & Garduño, I.E. (2024). Optimización de parámetros en procesos de moldeo por inyección: Instrumentación para industria 4.0 (Optimization of parameters in injection molding processes: Instrumentation for Industry 4.0). *Revista Iberoamericana de Ciencias*. <https://www.reibci.org/publicados/2024/ago/5400115.pdf>
- Sánchez Carrión, E.F., Abarca Pérez, E.P., & Arguello, E.E. (2022). Optimización del proceso de fundición mediante ingeniería inversa y manufactura aditiva de un cabezote de motor (Optimization of the casting process through the reverse and additive engineering process of a small displacement engine head). *Conciencia Digital*, 5(3), 1-20. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i3.1.2249>
- Stampone, B., Deniz, K.I., Foscarini, A., Turco, A., Chiriaco, M.S., Ferrara, F., Giorleo, L., & Trotta, G. (2024). Rapid tooling for microinjection moulding of proof of concept microfluidic device: Resin insert capability and preliminary validation. *Applied Sciences*, 14(8), 3157. <https://doi.org/10.3390/app14083157>
- Villaseñor, J.L. (2016). Lista de verificación de las plantas vasculares nativas de México (Checklist of the native vascular plants of México). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3). <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

Modelación Matemática y Educación STEM: un enfoque integrado para el desarrollo de competencias científicas

Verónica Hernández-Mena; Iván Loreto-Hernández

RESUMEN

La formación de ciudadanos capaces de comprender y enfrentar problemas complejos constituye un reto prioritario en la actualidad. La creciente interdependencia entre los avances de la investigación científica y la sostenibilidad de los sistemas socioambientales exige enfoques inter y transdisciplinarios. En este marco, la educación STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) y la modelación matemática de sistemas dinámicos se presentan como campos que, lejos de ser paralelos, pueden nutrirse mutuamente.

La modelación matemática ofrece un lenguaje riguroso para representar, analizar y simular procesos, mientras que la educación STEM busca desarrollar en los estudiantes competencias cognitivas, técnicas y actitudinales para abordar dichos procesos con sentido crítico y creativo. La convergencia entre ambas áreas permite no solo vincular los contenidos escolares con fenómenos reales, sino también potenciar la motivación y la relevancia social del aprendizaje. Este artículo explora los puntos de convergencia y destaca la relevancia de diseñar experiencias educativas que utilicen problemas reales de modelación matemática como vehículo para la formación STEM. Asimismo, se destacan sus aportes en la construcción de habilidades de pensamiento sistémico, resolución de problemas y colaboración, así como en la promoción de una mirada interdisciplinaria hacia los desafíos globales. Finalmente, se subraya la importancia de diseñar prácticas educativas que reconozcan la complejidad del mundo contemporáneo y contribuyan a la preparación de estudiantes capaces de participar activamente en la transformación de su entorno.

Palabras clave: educación STEM; modelación matemática; transdisciplinariedad, pensamiento crítico, resolución de problemas.

Cómo citar: Hernández-Mena, V., Loreto Hernández, I. (2026). Modelación Matemática y Educación STEM: un enfoque integrado para el desarrollo de competencias científicas. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto15>

Mathematical Modeling and STEM Education: an integrated approach for the development of scientific competencies

ABSTRACT

The formation of citizens capable of understanding and addressing complex problems constitutes a priority challenge today. The growing interdependence between advances in scientific research and the sustainability of socio-environmental systems requires interand transdisciplinary approaches. Within this framework, STEM education (science, technology, engineering, and mathematics) and the mathematical modeling of dynamic systems emerge as fields that, rather than being parallel, can mutually enrich each other. Mathematical modeling offers a rigorous language to represent, analyze, and simulate processes, while STEM education seeks to develop in students cognitive, technical, and attitudinal competencies to address such processes with a critical and creative perspective. The convergence between both areas makes it possible not only to connect school content with real phenomena, but also to enhance motivation and the social relevance of learning. This article explores the points of convergence and highlights the importance of designing educational experiences that use real mathematical modeling problems as a vehicle for STEM education. Likewise, its contributions to the development of systemic thinking skills, problem solving, and collaboration are highlighted, as well as the promotion of an interdisciplinary perspective toward global challenges. Finally, the importance of designing educational practices that recognize the complexity of the contemporary world and contribute to the preparation of students capable of actively participating in the transformation of their environment is emphasized.

Keywords: STEM education; mathematical modeling; transdisciplinarity; critical thinking; problem solving.

INTRODUCCIÓN

En un contexto global caracterizado por la incertidumbre, la interdependencia, la acelerada transformación tecnológica y los desafíos ambientales, la educación enfrenta el reto de formar ciudadanos capaces de comprender, analizar y actuar frente a realidades complejas (Bybee, 2013). En este sentido, la educación STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) se ha consolidado como una respuesta educativa orientada a integrar estas disciplinas en experiencias significativas y contextualizadas, promoviendo el desarrollo de competencias cognitivas, sociales y emocionales orientadas a la resolución de problemas reales (Honey et al., 2014).

Sin embargo, la práctica educativa continúa siendo desarticulada, con estructuras curriculares rígidas que aíslan el conocimiento y dificultan la transferencia entre disciplinas (Roehrig et al., 2021). En consecuencia, surge la necesidad de desarrollar propuestas metodológicas que promuevan aprendizajes significativos y socialmente relevantes, capaces de conectar los contenidos escolares con los fenómenos globales.

Una vía prometedora para alcanzar esta integración es la modelación matemática, misma que se ha consolidado

como una herramienta poderosa para comprender sistemas dinámicos y para representar de manera estructurada los fenómenos del mundo real (Blum, 2015). Al incorporar la modelación al enfoque STEM, se puede ofrecer a cada estudiante una oportunidad para construir conocimiento a través de la exploración, la simulación y el análisis de fenómenos complejos, reforzando el vínculo entre la teoría y la práctica (Pessoa da Silva et al., 2022), transitando así de la abstracción a la aplicación y fortaleciendo el pensamiento crítico.

Sin embargo, a pesar de los beneficios ampliamente reconocidos de la modelación matemática, su incorporación efectiva en los entornos educativos continúa enfrentando múltiples desafíos. Diversos estudios señalan que las principales dificultades se relacionan con la falta de formación docente específica, la resistencia a modificar las prácticas tradicionales de enseñanza y la ausencia de materiales y recursos adaptados al enfoque de modelación (Quilantán-Ortega & Rodríguez-Velázquez, 2025). Los docentes suelen mostrar inseguridad al guiar procesos abiertos y no lineales, especialmente cuando se requiere integrar diversas

áreas del conocimiento o promover el trabajo colaborativo (Castaño Torres & Guerra Ramos, 2025). Además, los currículos escolares suelen estar estructurados de manera rígida, lo que dificulta dedicar tiempo suficiente a la exploración y validación de modelos, o a la discusión interdisciplinaria que esta metodología demanda (Stillman et al., 2010).

Estas limitaciones generan una tensión entre el ideal de una enseñanza centrada en la resolución de problemas reales y la presión institucional por cumplir con los contenidos estandarizados, lo que explica por qué la modelación matemática, pese a su potencial transformador, sigue siendo un componente marginal en muchas aulas.

Este artículo propone un marco de integración conceptual y metodológico entre ambas áreas y argumenta que la inclusión sistemática de experiencias de modelación aplicada en entornos educativos fortalece las competencias científicas y favorece la orientación vocacional hacia disciplinas STEM. Asimismo, se presentan fundamentos teóricos, ejemplos de implementación y consideraciones prácticas para diseñar estrategias pedagógicas que se vinculen a los problemas reales de modelación con el aprendizaje activo.

DESARROLLO

Educación STEM: fundamentos y retos

La educación STEM se orienta hacia el desarrollo de competencias integrales que trascienden la mera memorización de contenidos disciplinares. Su propósito central es fomentar la comprensión conceptual profunda de los fenómenos científicos y tecnológicos, promover la resolución de problemas complejos y estimular la curiosidad, la creatividad y el interés vocacional por las disciplinas científicas (Bybee, 2013; English, 2016). Este enfoque busca preparar a los estudiantes para participar activamente en una sociedad caracterizada por la innovación, la sostenibilidad y la interdependencia tecnológica.

Todo ello pretende que los estudiantes comprendan la naturaleza interconectada del conocimiento científico y tecnológico, y que sean capaces de aplicar los conceptos aprendidos en contextos auténticos. La educación STEM no solo busca la adquisición de conocimientos técnicos, sino también el desarrollo de competencias para pensar de manera interdisciplinaria y creativa frente a problemas auténticos, desarrollando habilidades de pensamiento crítico, creatividad e innovación. Además, fomenta la alfabetización científica y tecnológica necesaria para la participación ciudadana (National Academy of Sciences, 2014).

A pesar de su potencial transformador, diversas investigaciones advierten sobre una serie de retos estructurales y pedagógicos que obstaculizan la implementación efectiva de programas de educación STEM en el nivel básico. Entre los principales desafíos está la ausencia de sinergia interdisciplinaria (Tamargo-Pedregal et al., 2022), la escasa vinculación con contextos reales y la falta de estrategias que integren teoría y práctica de manera significativa (Honey et al., 2014).

Numerosos informes indican que muchos profesores

carecen de la formación disciplinar y metodológica necesaria para implementar enfoques interdisciplinarios y basados en proyectos, pilares esenciales de la educación STEM (Castaño Torres & Guerra Ramos, 2025; Silva & Alsina, 2023). Se observan también barreras pedagógicas, ya que la persistencia de estrategias tradicionales inhibe la integración curricular y reduce el potencial del enfoque STEM, orientado a la resolución creativa de problemas mediante la articulación entre ciencia, arte y tecnología (Mendoza Molina, 2023).

Estas limitaciones no solo reducen la percepción de relevancia del aprendizaje, sino que también dificultan la atracción y retención de estudiantes hacia los campos STEM, especialmente en niveles preuniversitarios. Frente a este panorama, los estudios destacan diversas estrategias de mejora orientadas a fortalecer la educación STEM. Entre ellas sobresalen la inversión en infraestructura, la implementación de programas continuos de formación docente y la adaptación de metodologías activas basadas en proyectos y en la indagación científica (Cifuentes & Caplan, 2020; Gaibor Bustamante et al., 2025).

El desafío consiste en trascender la enseñanza instrumental de contenidos hacia la comprensión relacional y el razonamiento sistémico, aspectos en los que la modelación matemática puede desempeñar un papel clave. Cuando las acciones se articulan con una comprensión profunda del contexto, contribuyen a reducir las brechas estructurales y a consolidar una educación STEM más inclusiva, pertinente y sostenible.

Modelación matemática

La modelación matemática ha sido reconocida como una práctica esencial tanto en la ciencia como en la educación. En el ámbito escolar, constituye un proceso mediante el cual los estudiantes traducen situaciones del mundo real en representaciones simbólicas, a través de un proceso que implica la identificación de un problema, la formulación de un modelo, el análisis, la validación y la interpretación de resultados. Este proceso exige a los estudiantes movilizar conocimientos matemáticos, científicos y tecnológicos, además de habilidades de comunicación y reflexión (Stillman et al., 2010).

Además, la modelación matemática permite representar fenómenos reales por medio de estructuras formales, tales como ecuaciones diferenciales, modelos estocásticos o autómatas celulares, con el propósito de describir, explicar y predecir comportamientos dinámicos; traduce procesos complejos en representaciones simbólicas que facilitan su análisis y comprensión, al tiempo que posibilita la toma de decisiones fundamentadas en evidencia cuantitativa (Blum, 2015).

En el ámbito de las poblaciones y los flujos, la modelación matemática ofrece un amplio rango de aplicaciones que van desde la ecología hasta la ingeniería ambiental o la planificación urbana. Los modelos logísticos, así como los de Lotka-Volterra, por ejemplo, se utilizan para analizar la dinámica de crecimiento y competencia entre especies,

así como las interacciones depredador-presa o los equilibrios ecológicos en comunidades biológicas (Xiong et al., 2019). De manera similar, es posible realizar simulaciones computacionales que permitan generar escenarios probables de violencia de pareja con distintos niveles de severidad (Leal-Enríquez, 2018). En contextos urbanos, los modelos de redes y flujos de tráfico posibilitan examinar la distribución temporal y espacial del movimiento de personas y vehículos, favoreciendo el diseño de sistemas de transporte más sostenibles (Petelin et al., 2023).

La capacidad de estos modelos para integrar datos empíricos, evaluar escenarios y optimizar decisiones los convierte en herramientas de gran valor tanto para la investigación aplicada como para la gestión de sistemas complejos. Además, su potencial pedagógico reside en la posibilidad de representar fenómenos observables y relevantes para los estudiantes, convirtiéndolos en un puente entre la abstracción matemática y la comprensión de la realidad (Blum, 2015).

En términos pedagógicos, la modelación promueve aprendizajes profundos, dado que sitúa al estudiante como protagonista de la construcción del conocimiento y lo enfrenta a la incertidumbre inherente a los fenómenos reales (Dominguez et al., 2024). Mediante el modelado, desarrollan una comprensión más orgánica de las relaciones causa-efecto, la variabilidad y la naturaleza dinámica de los sistemas.

La modelación matemática como estrategia integradora en la educación STEM

La convergencia entre STEM y modelación matemática puede entenderse desde el pensamiento complejo (Doğan et al., 2019), que reconoce la multidimensionalidad de los fenómenos y la necesidad de abordarlos de forma integrada. La integración de la modelación matemática dentro del enfoque STEM promueve experiencias de aprendizaje interdisciplinarias donde los estudiantes construyen modelos para explicar, predecir y transformar fenómenos del entorno (Panche, 2019), permitiendo representar y analizar sistemas físicos, biológicos, sociales o tecnológicos con rigor conceptual y pertinencia contextual.

Esta fusión potencia el desarrollo de competencias interdisciplinarias, como la resolución de problemas, la colaboración y la argumentación basada en evidencia, que son esenciales para la formación de ciudadanos científicos (Bybee, 2013). La modelación aporta el componente analítico y metodológico que permite que STEM pueda trascender la acumulación de contenidos para convertirse en un marco de pensamiento.

La incorporación de problemas auténticos de la modelación matemática dentro de entornos educativos STEM es una estrategia pedagógica potente que supera la brecha entre conocimiento teórico y aplicación práctica, que promueve una comprensión interdisciplinaria del aprendizaje, favoreciendo la conexión entre los contenidos curriculares y las problemáticas del mundo real (Schulz, 2016).

Modelación matemática en entornos educativos

Diversos estudios han mostrado que la modelación matemática empleada en entornos STEM se asocia con mejoras significativas en las competencias científicas y matemáticas de estudiantes de distintos niveles educativos, desde la educación básica hasta la superior (Cardona & Leal, 2024). En particular, se evidencian incrementos estadísticamente significativos en habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y razonamiento científico cuando se integran actividades interdisciplinarias y herramientas digitales en el aula (Bernal Parraga et al., 2024). Del mismo modo, experiencias basadas en metodologías de aprendizaje por proyectos y por problemas demuestran mejoras tanto cuantitativas en el rendimiento académico como cualitativas en la capacidad de modelar y analizar fenómenos reales (Gómez Urgellés, 2008; Panche, 2019).

Los modelos educativos integrales que incorporan la modelación matemática no solo fortalecen las habilidades analíticas y el pensamiento sistémico, sino que también promueven una comprensión más profunda de las interrelaciones entre teoría y práctica. En este sentido, diversos autores destacan que estos enfoques favorecen la formulación y aplicación de modelos, la identificación de variables críticas y el uso de analogías y representaciones prácticas para comprender sistemas complejos (Carmona-Mesa et al., 2020; Carrasco Lecona & Bernal Córdova, 2025; Del Mar Aragón et al., 2014). Asimismo, las intervenciones que integran la modelación con herramientas tecnológicas avanzadas e inductivas evidencian un fortalecimiento del vínculo entre el conocimiento científico y su aplicación contextual, aunque también subrayan la necesidad de ajustar los diseños de los modelos y ampliar la oferta tecnológica para optimizar los procesos formativos (Latifi et al., 2022).

En conjunto, la evidencia empírica y teórica disponible respalda que un enfoque educativo integrado, sustentado en la modelación matemática y en los principios de la educación STEM, favorece el desarrollo de competencias científicas esenciales, como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la creatividad aplicada, al tiempo que impulsa una formación más reflexiva, interdisciplinaria y socialmente relevante para los desafíos contemporáneos.

Desarrollo de competencias transversales

El proceso de modelación matemática es inherentemente interdisciplinario y promueve la movilización de un conjunto amplio de competencias transversales esenciales para la educación STEM. Este proceso, que abarca la recopilación e interpretación de datos, la formulación de supuestos, la construcción del modelo, la validación de resultados y la comunicación de hallazgos, exige que los estudiantes integren habilidades cognitivas, procedimentales y actitudinales de alto nivel (Blum, 2015).

Durante la construcción y análisis de estos modelos, los estudiantes desarrollan razonamiento cuantitativo al interpretar patrones y relaciones entre variables y fortalecen su capacidad de argumentar con base en evidencia, lo que

sustenta sus conclusiones en datos y simulaciones. A su vez, la necesidad de validar los resultados y revisar los modelos estimula el pensamiento crítico y metacognitivo, pues los estudiantes deben reflexionar sobre la validez de sus supuestos y las implicaciones de sus decisiones.

De acuerdo con Magani y Bertolotti (2017), la modelación constituye un espacio cognitivo de frontera donde convergen las matemáticas, la experimentación y el razonamiento científico. Este carácter híbrido impulsa el desarrollo de habilidades que trascienden el dominio disciplinar, lo cual promueve la transferencia del conocimiento y la autonomía intelectual. Así, el aprendizaje basado en modelación contribuye a una formación científica integral que combina precisión analítica con creatividad, comunicación y trabajo colaborativo.

Conexión con problemas auténticos

Uno de los mayores aportes de la modelación matemática en la educación STEM es su capacidad para vincular el aprendizaje con problemas auténticos, es decir, con situaciones reales que poseen relevancia social, ambiental o tecnológica. La modelación de poblaciones biológicas, flujos de contaminantes o sistemas de movilidad urbana representan ejemplos claros de cómo los contenidos escolares pueden adquirir sentido y pertinencia en la vida cotidiana (Cardona & Leal, 2024; Panche, 2019).

Al situar a los estudiantes frente a fenómenos de su entorno inmediato, como la conservación de especies, la calidad del agua o la congestión del tráfico, se estimula la motivación intrínseca y se fortalece la percepción de que el conocimiento científico y matemático tiene una utilidad concreta para comprender y mejorar la realidad (Slovinsky et al., 2021).

Este tipo de experiencias promueve el desarrollo de una conciencia socioambiental y de una actitud más reflexiva ante la ciencia, entendida no solo como acumulación de saberes, sino como una herramienta para la acción colectiva. Cuando la modelación se enmarca en contextos reales, los estudiantes asumen un rol activo en la construcción del conocimiento, transformándose en agentes de indagación capaces de interpretar sistemas complejos y proponer soluciones innovadoras. De esta manera, la conexión con los problemas auténticos potencia tanto la relevancia del aprendizaje como la formación de ciudadanía científica, al situar la ciencia al servicio del bienestar social y ambiental (Bybee, 2013).

Orientación vocacional

La exposición temprana a experiencias de modelación matemática desempeña un papel crucial en la orientación vocacional de los estudiantes. Participar en proyectos donde se aplican modelos para resolver problemas reales permite que los jóvenes identifiquen sus intereses personales, reconozcan sus habilidades y descubran posibles trayectorias académicas y profesionales relacionadas con la biología cuantitativa, la ingeniería ambiental, la ciencia de datos o las mate-

máticas aplicadas (Caspi & Gorsky, 2024; Leyva et al., 2022).

Estas experiencias contribuyen al fortalecimiento de la autoeficacia científica, es decir, la confianza en la propia capacidad para comprender y usar la ciencia de manera competente (Bandura, 2011). Además, favorecen una percepción más humana y creativa de la ciencia, al presentarla como una actividad colaborativa, abierta a la exploración y al error. Según Honey et al. (2014), los entornos STEM que incorporan modelación promueven un aprendizaje activo en el que los estudiantes se reconocen como participantes legítimos en la construcción del conocimiento científico.

Desde esta perspectiva, la modelación matemática puede considerarse una estrategia de orientación vocacional de doble vía: por un lado, motiva el interés por las disciplinas científicas; y, por otro, permite visibilizar la diversidad de campos profesionales donde la ciencia y las matemáticas tienen aplicación directa. Tal enfoque resulta especialmente valioso en contextos donde los estereotipos de género o las desigualdades sociales limitan el acceso y la permanencia en carreras STEM (Luo et al., 2021). Además, puede mejorar la calidad académica y el rendimiento estudiantil, reduciendo potencialmente las tasas de deserción escolar mediante el desarrollo de competencias y la alineación de los objetivos de aprendizaje con las actividades y evaluaciones en el aula (Barragán & Cala, 2020).

Ejemplos de implementación educativa

Diversas experiencias en el nivel medio han demostrado que la modelación matemática y los proyectos basados en datos pueden integrarse eficazmente en el currículo STEM, favoreciendo el aprendizaje activo y la comprensión de fenómenos complejos desde edades tempranas. Este tipo de iniciativas promueven una comprensión interdisciplinaria, pues los estudiantes aplican conceptos de física, química y matemáticas para construir modelos de simulación que representan procesos hidrológicos reales (Young et al., 2025).

Por ejemplo, en una unidad didáctica centrada en el uso del modelado matemático en la educación secundaria, los estudiantes emplearon software como GeoGebra para formular y explorar aquellos modelos basados en ecuaciones diferenciales simplificadas. A partir de fenómenos cotidianos, como el crecimiento de una población o la propagación de una sustancia, se guiaron para identificar variables, establecer relaciones y validar los resultados obtenidos frente a los datos observados. Esta experiencia permitió no solo reforzar su comprensión conceptual, sino que también contribuyó al desarrollo de competencias de razonamiento matemático, pensamiento computacional y trabajo colaborativo, esenciales en la formación STEM (Latifi et al., 2022).

De la misma manera, experiencias de nivel universitario muestran la continuidad y expansión de estas habilidades en proyectos más complejos. Por ejemplo, los equipos de estudiantes de pregrado en la Universidad de California desarrollaron simulaciones y modelos de movilidad en campus y sistemas de transporte, analizando flujos peato-

nales y vehiculares, detectando cuellos de botella y proponiendo soluciones basadas en la optimización del tránsito y el diseño de rutas de microtransporte (Guerra, 2025). Estos proyectos, elaborados de manera interdisciplinaria, integran elementos de matemáticas aplicadas, programación, ingeniería civil y ciencias ambientales, consolidando un enfoque formativo centrado en la resolución de problemas mediante la modelación.

En conjunto, estas experiencias ilustran cómo es que la modelación matemática puede adaptarse a distintos niveles educativos, desde la secundaria hasta el pregrado, articulando la recolección de datos reales, el ajuste de parámetros y la simulación de escenarios con la comprensión de fenómenos del entorno. Ello evidencia la viabilidad de incorporar la modelación como una estrategia pedagógica clave en la educación STEM, fomentando el pensamiento crítico, la creatividad y la transferencia del conocimiento hacia contextos auténticos.

Apreciaciones para la implementación

Para incorporar la modelación matemática de manera efectiva en la educación STEM, es necesario tener en cuenta tanto principios didácticos como organizativos que garanticen que la experiencia de aprendizaje sea auténtica, viable y sostenible (Albarracín Vanoy, 2022). En primer lugar, la selección de problemas de relevancia social y ambiental favorece la motivación del alumnado y conecta el aprendizaje con su contexto inmediato. Esta orientación hacia contextos reales refuerza el sentido del aprendizaje y facilita la transferencia de las actividades al mundo real (Stillman et al., 2015).

Además, es importante ajustar la complejidad del modelo al nivel cognitivo del grupo: modelos excesivamente abstractos o sin relación con la experiencia del alumno pueden provocar la desconexión, mientras que aquellos modelos bien escalonados permiten construir competencias de modelación de manera progresiva (Durandt, 2021).

Dentro de la práctica docente, el trabajo colaborativo y la reflexión sobre cómo se modela son componentes esenciales en la enseñanza. Cuando los estudiantes dialogan, comparan sus procedimientos y justifican sus decisiones, los ciclos de traducción, validación y ajuste del modelo adquieren mayor sentido y profundidad. Autores como Blum (2015) indican que estas iteraciones son esenciales para construir la competencia de modelado.

Por otro lado, a nivel organizativo, resulta fundamental asegurar que los docentes cuenten con recursos digitales accesibles (software de modelado, visualización, hojas de cálculo, sensores, plataformas colaborativas) y guías didácticas que les permitan estructurar la actividad de modelado sin reinventar todo desde cero. Los docentes requieren materiales de apoyo para actividades de modelado aplicable, con el fin de integrarlo con éxito en la enseñanza.

Asimismo, la formación docente y de los espacios de desarrollo profesional continuo son imprescindibles. Los docentes que no han trabajado previamente con modela-

ción expresan barreras como la falta de confianza, el tiempo limitado, el desconocimiento de tareas de modelado y la escasez de ejemplos adecuados (Blum, 2015).

La implementación efectiva de la modelación matemática requiere una organización pedagógica intencional que combine planificación, recursos y acompañamiento docente. Los proyectos más exitosos son aquellos que se integran dentro del currículo regular, en lugar de presentarse como actividades aisladas. Distribuir las fases del proceso en bloques de trabajo claramente definidos de dos a cuatro semanas, permite que los estudiantes puedan recorrer con profundidad cada etapa del ciclo de modelización, desde la formulación del problema y la obtención de datos hasta la validación y comunicación de resultados. Este enfoque, promueve aprendizajes significativos y sostenidos al favorecer la conexión entre la realidad y el pensamiento matemático, así como la reflexión crítica sobre los supuestos empleados (Durandt, 2021; Blum, 2015).

Resulta esencial garantizar condiciones tanto materiales, como didácticas que sostienen el proceso: acceso a datos, herramientas digitales y guías estructuradas que orienten el trabajo de los estudiantes. A su vez, Maaß et al. (2018) destacan que la anticipación de estos recursos permite centrar la atención en la comprensión conceptual, mientras que la evaluación del proceso, más allá del resultado final, refuerza la colaboración, la argumentación y la metacognición (Stillman et al., 2015). Así, la modelación se consolida no solo como una estrategia analítica, sino como un espacio formativo integral que articula la teoría con la acción y promueve el desarrollo de competencias científicas y ciudadanas.

La modelación no se limita a ser un conjunto de cálculos y fórmulas. Es un vehículo pedagógico integrador, capaz de conectar el conocimiento disciplinar (matemáticas, ciencias y tecnología) con la exploración crítica de desafíos contemporáneos, promover el pensamiento sistemático, la argumentación basada en evidencia y la responsabilidad social del alumnado. En resumen, cuando se incorporan estos principios didácticos y organizativos, la modelación matemática se convierte en un motor de aprendizaje STEM auténtico, situado, colaborativo y formativo.

CONCLUSIONES

La incorporación de la modelación matemática en la educación STEM se configura como una estrategia pedagógica clave para enfrentar los desafíos contemporáneos de la enseñanza científica. A lo largo de este análisis, se ha evidenciado que la modelación no solo constituye un recurso analítico para describir fenómenos, sino también una práctica epistémica que transforma la manera en que los estudiantes se relacionan con el conocimiento. Al involucrar procesos de abstracción, experimentación, validación y comunicación, la modelación promueve la construcción de un pensamiento sistémico y crítico que trasciende los límites disciplinares tradicionales (Stillman et al., 2015).

En particular, la modelación de poblaciones y flujos ofrece

un campo fértil para articular conceptos de las ciencias naturales, las matemáticas y la ingeniería con problemáticas reales de sostenibilidad, salud o movilidad. Este tipo de experiencias sitúan a los estudiantes frente a fenómenos complejos, donde la interpretación de datos, la formulación de supuestos y la simulación de escenarios se convierten en vehículos para el aprendizaje significativo. La educación STEM cobra sentido cuando conecta los saberes escolares con la comprensión del mundo y con la capacidad de transformarlo.

No obstante, el desarrollo de propuestas integradoras enfrenta retos estructurales y pedagógicos. La rigidez curricular, la limitada formación docente en modelación y la escasez de recursos didácticos y tecnológicos continúan siendo barreras significativas (Quilantán-Ortega & Rodríguez-Vázquez, 2025). Estas dificultades evidencian la necesidad de avanzar hacia políticas y programas de formación que fortalezcan las competencias docentes en pensamiento sistémico, diseño de modelos y uso de herramientas digitales, así como la creación de redes colaborativas entre instituciones educativas y centros de investigación.

Asimismo, resulta indispensable consolidar una cultura educativa basada en la interdisciplinariedad, donde las ciencias y las matemáticas no se perciban como campos aislados, sino como lenguajes complementarios para comprender la complejidad de los sistemas naturales y sociales (Makonye & Moodley, 2023). Desde esta perspectiva, la modelación se convierte en una estrategia integradora que articula la teoría con la práctica, y el razonamiento lógico con la creatividad y la reflexión ética.

Finalmente, puede afirmarse que la educación STEM apoyada en la modelación matemática tiene el potencial de formar ciudadanos críticos, autónomos y comprometidos con la sostenibilidad, capaces de analizar los problemas de su entorno desde una mirada informada y multidimensional. Su implementación efectiva requiere voluntad institucional, innovación pedagógica y apoyo continuo al profesorado, pero los beneficios que ofrece en términos de aprendizaje profundo, motivación y desarrollo de competencias justifican plenamente el esfuerzo. Enseñar modelación no solo

significa enseñar matemáticas de otro modo, sino enseñar a pensar con las matemáticas: un desafío que, más que técnico, es profundamente educativo y cultural.

Si bien este análisis permite visibilizar el potencial de la modelación matemática como eje integrador de la educación STEM, es importante reconocer algunas limitaciones. En primer lugar, el trabajo se sustenta en una revisión teórica, esto limita la posibilidad de evaluar los efectos de dichas estrategias en el aprendizaje, la motivación y el desarrollo de competencias.

Asimismo, el análisis se centra principalmente en experiencias y contextos educativos que cuentan con cierto nivel de infraestructura y apoyo institucional, lo cual puede limitar la transferibilidad de las conclusiones a entornos con mayores carencias. En este sentido, no se profundiza en las adaptaciones pedagógicas necesarias para contextos rurales, interculturales o de alta vulnerabilidad, donde las condiciones para la implementación de la modelación pueden ser significativamente distintas.

Una vez validadas las hipótesis de trabajo que responden al cumplimiento de los objetivos se identifican diversas líneas de investigación que podrían profundizar y ampliar el conocimiento sobre la modelación matemática en la educación STEM.

En primer lugar, resulta necesario desarrollar estudios empíricos, cualitativos y cuantitativos, que analicen la implementación de actividades de modelación en distintos niveles educativos, evaluando su impacto en el aprendizaje conceptual, el pensamiento sistémico, la resolución de problemas complejos y la formación de actitudes hacia las disciplinas STEM.

Asimismo, futuras investigaciones podrían explorar la implementación en contextos educativos diversos, particularmente en escuelas rurales, interculturales o con recursos limitados, analizando cómo esta estrategia puede adaptarse para responder a problemáticas locales relacionadas con la sostenibilidad, la salud o la movilidad.

Estas líneas de investigación contribuirían a consolidar la modelación matemática no solo como una herramienta didáctica, sino como un eje estructurante de una educación STEM más pertinente, inclusiva y socialmente comprometida.

REFERENCIAS

- Albarracín Vanoy, R.J. (2022). STEM Education as a Teaching Method for the Development of XXI Century Competencies. *Metaverse Basic and Applied Research*, 1, 21. <https://doi.org/10.56294/mr202221>
- Bandura, A. (2011). The Explanatory and Predictive Scope of Self-Efficacy Theory. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 4(3), 359-373. <https://doi.org/10.1521/jscp.1986.4.3.359>
- Barragán, S., & Cala, F. (2020). Educación STEM integrada como estrategia para la permanencia estudiantil en la educación superior. En: *Apuestas hacia la formación, impacto y proyectos de seres críticos* (Integrated STEM education as a strategy for student retention in higher education. In: Bets on the training, impact, and projects of critical thinkers) (pp. 85-110). https://doi.org/10.47212/educacion_stem-steam_6
- Bernal Parraga, A.P., Lamina Pasmay, S.V., Orozco Maldonado, M.E., Arreaga Soriano, L.L., Vera Figueroa, L.V., Chimbay Vallejo, N.M., & Zambrano Lamilla, L.M. (2024). Análisis comparativo de la metodología STEM y otras metodologías activas en la educación general básica (Comparative analysis of STEM methodology and other active metho-

- dologies in basic general education). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 10094-10113. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13153
- Blum, W. (2015). Quality teaching of mathematical modelling: What do we know, what can we do? In S. Cho (Ed.), *The proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 73-96). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12688-3_9
- Bybee, R.W. (2013). *The Case for Education. Challenges and Opportunities*. NSTA Press.
- Cardona, J.P., & Leal, J.J. (2024). *Evaluación del desarrollo de habilidades de modelado matemático en un curso de ecuaciones diferenciales ordinarias: un enfoque desde la ingeniería* (Assessing mathematical modeling skills development in an ordinary differential equations course: an engineering approach). *Formacion Universitaria*, 17(2), 1-14. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062024000200001>
- Carmona-Mesa, J.A., Cardona Zapata, M.E., & Castrillón-Yepes, A. (2020). Estudio de fenómenos físicos en la formación inicial de profesores de Matemáticas. Una experiencia con enfoque STEM (Studying physical phenomena in the initial training of mathematics teachers: A STEM-focused experience). *Uni-Pluri/versidad*, 20(1), 18-38. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.20.1.02>
- Carrasco Lecona, J.O. & Bernal Córdova, A. (2025). Fomentando habilidades en Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas (STEAM) en Educación Media Superior: Retos y oportunidades en Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No. 164 "José María Luis Mora" (Promoting skills in Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics (STEAM) in Upper Secondary Education: Challenges and opportunities at the Center for Technological, Industrial and Service Studies No. 164 "José María Luis Mora"). *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(3), 1408-1418. https://www.researchgate.net/publication/392857556_Fomentando_habilidades_en_Ciencia_Tecnologia_Ingenieria_Artes_y_Matematicas_STEAM_en_Educacion_Media_Superior_Retos_y_oportunidades_en_Centro_de_Estudios_Tecnologicos_Industrial_y_de_Servicios_No_164
- Caspi, A., & Gorsky, P. (2024). STEM career expectations across four diverse countries: motivation to learn mathematics mediates the effects of gender and math classroom environments. *International Journal of STEM Education*, 11(52), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00511-5>
- Castaña Torres, Y., & Guerra Ramos, M.T. (2025, January 30). *Perspectivas de docentes de secundaria frente a una enseñanza con enfoque STEM en escuelas rurales* (Secondary school teachers' perspectives on STEM-focused teaching in rural schools). Critical Proceedings of the STEM ED Conference (2024). <https://doi.org/10.51734/enkj5089>
- Cifuentes G., A.P., & Caplan, M. (2019). Experiencias de educación STEM en el ámbito formal y rural. En N. Moreno Cáceres (Comp.), *Educación STEM/STEAM: Apuestas hacia la formación, impacto y proyección de seres críticos* [STEM education experiences in formal and rural settings. In N. Moreno Cáceres (Comp.), *STEM/STEAM Education: Bets on the training, impact and projection of critical beings*] (pp. 27-39). Fondo Editorial Universitario Servando Garcés. https://doi.org/10.47212/educacion_stem-steam_3
- Del Mar Aragón, M., Oliva-Martínez, J.M., & Navarrete, A. (2014). Desarrollando la competencia de modelización mediante el uso y aplicación de analogías en torno al cambio químico (Developing the modelling competence through the use and application of analogies around the chemical change). *Enseñanza de Las Ciencias. Revista De investigación Y Experiencias didácticas*, 32(3), 337-356. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1193>
- Doğan, M.F., Gürbüz, R., Çavuş-Erdem, Z., & Şahin, S. (2019). Using mathematical modeling for integrating STEM disciplines: A theoretical framework. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 10(3), 628-653. <https://doi.org/10.16949/turkbilmat.502007>
- Dominguez, A., De la Garza, J., Quezada-Espinoza, M., & Zavala, G. (2024). Integration of Physics and Mathematics in STEM Education: Use of Modeling. *Education Sciences*, 14(1), 20. <https://doi.org/10.3390/educsci14010020>
- Durandt, R. (2021). Design principles to consider when student teachers are expected to learn mathematical modelling. *Pythagoras-Journal of the Association for Mathematics Education of South Africa*, 42(1), 1-13. <https://doi.org/10.4102/pythagoras.v42i1.618>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Gaibor Bustamante, M.S., Alvarado Triviño, E.E., Cedeño Barre, C.R., Luzuriaga Franco, E., & Mamonte Bohórquez, R.W. (2025). Análisis del acceso a educación STEM en zonas rurales de América Latina: implicaciones para el desarrollo social y económico sostenible. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6 (1), 2012 - 2034. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i1.3472>
- Gómez I Urgellés, J. (2008). La ingeniería como escenario y los modelos matemáticos como actores (The Engineering as Scenario and the Mathematical Models as Actors). *Modelling in Science Education and Learning*, 1(1), 3-9. <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/cb4f48f2-8878-4d30-9568-9688a6e9d4be/content>
- Guerra, P. (2025, junio 24). *Project Envisioning Air Transport Between UC Campuses Earns Award*. UCMERCED. <https://www.ucmerced.edu/news/2025/project-envisioning-air-transport-between-uc-campuses-earns-award/>
- Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H.A. (2014). *STEM integration in K-12 education: status, prospects, and an agenda for research* (1st ed.). The National Academies Press.
- Latifi, M., Esegir, A., Elmaroufi, A., Hattaf, K., & Achtaich, N. (2022). Modeling with Differential Equations and Geogebra in High School Mathematics Education. *Journal of Educational and Social Research*, 12(3), 47-91. <https://doi.org/10.36941/jesr-2022-0065>
- Leal-Enriquez, E. (2018). Mathematical modeling of intimate partner violence: Simulations of loss of control scenarios. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 330, 105-1062. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2017.07.002>
- Leyva, E., Walkington, C., Perera, H., & Bernacki, M. (2022). Making Mathematics Relevant: an Examination of Student Interest in Mathematics, Interest in STEM Careers, and Perceived Relevance. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 8(3), 612-641. <https://doi.org/10.1007/s40753-021-00159-4>
- Luo, T., So, W.W.M., Wan, Z. H., & Li, W.C. (2021). STEM stereotypes predict students' STEM career interest via self-efficacy and outcome expectations. *International Journal of STEM Education*, 8(36), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00295-y>

- Maaß, J., O'Meara, N., Johnson, P., & O'Donoghue, J. (2018). *Mathematical Modelling for Teachers A Practical Guide to Applicable Mathematics Education*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-00431-6>
- Magani, L., & Bertolotti, T. (2017). *Springer Handbook of Model-Based Science* (Vol. 1). Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30526-4>
- Makonye, J.P., & Moodley, N.P. (2023). Connecting mathematics to STEM education: interdisciplinary teaching and learning facilitation. *ZDM Mathematics Education*, 55(7), 1365-1373. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01522-2>
- Mendoza Molina, M. (2023). El Enfoque Steam en el Desarrollo de Competencias Científicas en los Estudiantes de Básica Secundaria en Instituciones Oficiales de Cúcuta, Norte de Santander (The STEAM Approach in the Development of Scientific Competencies in Secondary School Students in Official Institutions of Cúcuta, Norte de Santander). *Línea Imaginaria*, 2(18), 356-379. <https://doi.org/10.56219/lineaimaginaria.v2i18.2742>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2014). *STEM integration in K–12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18612>
- Panche, F.S. (2019). Formulación e implementación de un modelo de innovación educativa para fortalecer las capacidades de estudiantes de educación media, en la resolución de problemas con el uso de tics y stem (Formulation and implementation of an educational innovation model to strengthen middle school student's abilities, in solving problems with the use of ICTs and STEM). *Polotécnico Grancolombiano*, 1(1), 1-8. <https://scispace.com/pdf/formulacion-e-implementacion-de-un-modelo-de-innovacion-2oho1q3y9q.pdf>
- Pessoa da Silva, K.A., Hideki Araki, P.H., & Borssoi, A.H. (2022). Integração STEM na Educação Básica veiculada por atividades de modelagem matemática com experimentação. *Educação Matemática Pesquisa: Revista Do Programa De Estudos Pós-Graduados Em Educação Matemática*, 24(3), 323-354. <https://doi.org/10.23925/1983-3156.2022v24i3p323-354>
- Petelin, G., Hribar, R. & Papa, G. (2023). Models for forecasting the traffic flow within the city of Ljubljana. *European Transport Research Review*, 15(30), 1-20. <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00600-6>
- Quilantán-Ortega, I., & Rodríguez-Vázquez, F.M. (2025). Qualitative analysis of the logistic equation in Mathematics Education. *Revista Electronica Educare*, 29(2), 1-23. <https://doi.org/10.15359/ree.29-2.18642>
- Roehrig, G.H., Dare, E.A., Ring-Whalen, E., & Wieselmann, J.R. (2021). Understanding coherence and integration in integrated STEM curriculum. *International Journal of STEM Education*, 8(2) 1-21. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00259-8>
- Schulz, R.A. (2016). STEM y Modelamiento Matemático 1. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, 11(15), 291-317. <https://funes.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/tainacan-items/32454/1176831/Araya2016Stem.pdf>
- Silva, M., & Alsina, Á. (2023). STEAM para la sostenibilidad: integrando la educación estadística y científica en un contexto rural. *Innovaciones Educativas*, 25(39), 188-204. <https://doi.org/10.22458/ie.v25i39.4728>
- Slovinsky, E., Kapanadze, M., & Bolte, C. (2021). The Effect of a Socio-Scientific Context-Based Science Teaching Program on Motivational Aspects of the Learning Environment. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(8), 1-16. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11070>
- Stillman, G. A., Blum, W., & Biembengut, M.S. (2015). *Mathematical Modelling in Education Research and Practice Cultural, Social and Cognitive Influences* (Vol. 1). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18272-8>
- Stillman, G., Brown, J., & Galbraith, P. (2010). Identifying challenges within transition phases of mathematical modeling activities at year 9. In: R. Lesh, P. Galbraith, C. Haines, A. Hurford (Eds.). *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies* (pp. 385-398). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0561-1_33
- Tamargo-Pedregal, L.-A., Agudo-Prado, S., & Fombona, J. (2022). Intereses STEM/STEAM del alumnado de Secundaria de zona rural y de zona urbana en España. *Educação E Pesquisa*, (48), e240890. <https://doi.org/10.1590/S1678-4634202248240890>
- Xiong, J., Li, X., & Wang, H. (2019). The survival analysis of a stochastic Lotka-Volterra competition model with a coexistence equilibrium. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 16(4), 2717-2737. <https://doi.org/10.3934/mbe.2019135>
- Young, M., Datta, T., Moore, K., & Kalyanapu, A. (2025). Engaging Rural High School Students in a Watershed Literacy Program. *Water*, 17(11), 1588. <https://doi.org/10.3390/w17111588>

Determinantes del empleo formal femenino en México: evidencia regional postpandemia, 2020T4 vs 2024T4

Annel Hurtado Jaramillo; Liliana Rendón Rojas; Marlen Rocío Reyes Hernández

RESUMEN

Se analizan los determinantes del empleo formal femenino en México, destacando su relevancia para la productividad, la estabilidad del ingreso y la protección social en un contexto de alta heterogeneidad estructural y segmentación laboral. Para esto se emplea un modelo de regresión logística con datos de la ENOE para 2020T4 y 2024T4, incorporando variables como nivel educativo, número de hijos y estado civil. Los resultados evidencian una persistente brecha de género en todas las regiones, siendo mayor en el norte del país. El nivel educativo emerge como el principal determinante positivo del empleo formal femenino, mientras que el número de hijos reduce dicha probabilidad, especialmente en niveles altos. Asimismo, se identifican cambios regionales en la intensidad de estos efectos tras la pandemia. En conjunto, el estudio aporta evidencia útil para el diseño de políticas públicas orientadas a reducir las desigualdades de género en el mercado laboral.

Palabras clave: empleo formal femenino, desigualdad de género, determinantes laborales, México.

Cómo citar: Hurtado, A., Rendón, L., Reyes, M. (2026). Determinantes del empleo formal femenino en México: evidencia regional postpandemia, 2020T4 vs 2024T4. En Peña Guzmán, C. *Mujeres y su impacto en la ciencia y tecnología latinoamericana*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/mujeresimpacto16>

Determinants of Female Formal Employment in Mexico: Regional Evidence in the Post-Pandemic Period, 2020T4 vs. 2024T4

ABSTRACT

The determinants of formal female employment in Mexico are analyzed, highlighting their relevance for productivity, income stability, and social protection within a context of high structural heterogeneity and labor market segmentation. To this end, a logistic regression model is employed using data from the ENOE for the fourth quarters of 2020 and 2024, incorporating variables such as educational attainment, number of children, and marital status. The results reveal a persistent gender gap across all regions, which is most pronounced in the northern part of the country. Educational attainment emerges as the primary positive determinant of formal female employment, while the number of children reduces this probability—particularly at higher parity levels. Furthermore, regional shifts in the intensity of these effects following the pandemic are identified. Collectively, this study provides useful evidence for the design of public policies aimed at reducing gender inequalities in the labor market.

Keywords: formal female employment, gender inequality, labor determinants, Mexico.

INTRODUCCIÓN

El análisis de empleo formal constituye un tema central en la literatura económica debido a su estrecha relación con la productividad, la estabilidad de los ingresos y la protección social. En economías como la mexicana, caracterizadas como la heterogeneidad estructural y una persistente segmentación del mercado laboral, el estudio de los determinantes del acceso a la formalidad resulta particularmente relevante. Esta problemática adquiere mayor complejidad cuando se incorpora la dimensión de género, dado que las mujeres enfrentan restricciones específicas asociadas tanto a factores de mercado como a condiciones institucionales y sociales que inciden en su participación laboral.

En este contexto, el empleo formal femenino ha sido objeto de creciente atención, no solo por su papel en la reducción de brechas de desigualdad, sino también por su contribución al desarrollo económico y al bienestar de los hogares. A pesar de los avances observados en las últimas décadas, la inserción de las mujeres en empleos formales continúa siendo desigual entre regiones y grupos poblacionales. Factores como el nivel educativo, la estructura familiar y las responsabilidades de cuidado siguen configurando patrones diferenciados de participación laboral, lo que sugiere la existencia de mecanismos persistentes de exclusión y segmentación.

La evidencia reciente para distintas economías pone de manifiesto la vulnerabilidad estructural del empleo, particularmente en contextos de choques económicos, como fue

la pandemia del Covid-19. Para América Latina, Jaramillo y Ñopo (2020) analizan el caso de Perú a partir de medir los impactos potenciales de la crisis sobre los ingresos laborales de los hogares. Destacan que una proporción importante de los hogares carecen de mecanismos de protección laboral, lo que incrementa la exposición de los trabajadores informales y asalariados sin contrato. En Centroamérica, Morales (2020) señala que la alta informalidad junto con la dependencia del comercio exterior y el turismo amplifica los efectos adversos sobre el empleo. En el caso europeo, Ruesga (2020) destaca que los impactos económicos presentan importantes asimetrías territoriales, determinadas por la estructura productiva y la especialización regional.

Para México, diversos estudios coinciden en señalar la magnitud de los ajustes en el mercado laboral. Por ejemplo, Esquivel (2020) muestra una contracción significativa de la actividad económica y una pérdida sustancial de empleos formales, concentrada en trabajadores de menores ingresos. En este mismo sentido, Samaniego (2020) destaca que una proporción considerable de la fuerza de trabajo, principalmente, en el sector informal, se retiró temporalmente del mercado laboral, mientras que Mendoza (2020) identifica una caída abrupta en la ocupación durante los primeros meses del choque. En conjunto esta evidencia sugiere que los efectos sobre el empleo no solo fueron profundos, sino también heterogéneos entre sectores, regiones y grupos poblacionales.

En este marco, este capítulo tiene como objetivo analizar los determinantes del empleo formal femenino en México, incorporando un enfoque regional y comparativo que permite identificar cambios en su comportamiento en dos momentos del tiempo. A partir de un modelo econométrico de elección discreta, se examina la probabilidad de inserción en el empleo formal en función de variables sociodemográficas clave, lo que permite evaluar tanto la magnitud como la dirección de sus efectos.

Los resultados muestran, en primer lugar, la persistencia de una brecha de género en el acceso al empleo formal en todas las regiones al país, siendo más acentuada en aquellas con mayor dinamismo económico. En segundo lugar, se identifica al nivel educativo, como el principal determinante de la formalidad laboral femenina, con efectos positivos crecientes conforme se incrementa la escolaridad. En contraste, el número de hijos tiende a reducir la probabilidad de inserción en el empleo formal, particularmente en contextos donde las responsabilidades de cuidado recaen de manera predominante en las mujeres. Finalmente, el estado civil también influye en las decisiones de participación laboral, evidenciando que ciertas condiciones conyugales están asociadas con una mayor propensión a integrarse al sector formal.

De manera adicional, el análisis comparativo evidencia que, si bien algunos determinantes mantienen una estructura relativamente estable en el tiempo, existentes cambios relevantes en su intensidad y en su expresión regional, lo que sugiere que la dinámica del empleo formal femenino responde tanto a factores estructurales como a condiciones coyunturales.

La principal contribución de este estudio radica en ofrecer evidencia empírica actualizada sobre los factores que condicionan el acceso de las mujeres al empleo formal en México, destacando la importancia de considerar simultáneamente las diferencias regionales y las características sociodemográficas. Asimismo, los resultados aportan elementos útiles para el diseño de políticas públicas orientadas a reducir las brechas de género en el mercado laboral, particularmente aquellas relacionadas con la conciliación entre trabajo y responsabilidades de cuidado.

El documento se estructura de la siguiente manera. En la primera sección se presenta el marco teórico sobre la Teoría de la Inexistencia del Mercado de Trabajo (TIMT). En la segunda sección se describe la metodología y las fuentes de información utilizadas. En la tercera sección se exponen y discuten los resultados empíricos. Finalmente, se presentan las conclusiones y las implicaciones de política económica derivadas del análisis.

MARCO TEÓRICO

La participación de las mujeres en el mercado laboral ha constituido un tema central en el análisis económico y social contemporáneo. No obstante, desde la perspectiva de la economía, la diferencia de género ha sido considerada

irrelevante para la construcción de la teoría de la distribución y de los precios. En contraste, Noriega y Villegas (2017) sostienen que la diferencia de género es esencial para explicar el funcionamiento de la vida económica, particularmente cuando se incorpora el papel de las mujeres madres en los procesos productivos y reproductivos.

De acuerdo con estos autores, es posible distinguir dos grandes categorías de agentes económicos: por un lado, las mujeres madres, y por otro, los individuos del género complementario. Esta distinción resulta fundamental para explicar la dinámica económica, ya que introduce el análisis de la reproducción social como un componente estructural del sistema económico.

Teoría Neoclásica y Teoría de la Inexistencia del Mercado de Trabajo

Desde la Teoría Neoclásica, el rol biológico y las responsabilidades sociales de las mujeres madres son considerados irrelevantes para la explicación del funcionamiento económico. Bajo este enfoque, los agentes económicos son homogéneos y las decisiones de producción, distribución y consumo, se determinan exclusivamente por preferencias, tecnología y precios relativos.

En oposición, la Teoría de la Inexistencia del Mercado de Trabajo (TIMT) plantea que las funciones reproductivas de las mujeres madres constituyen el origen de su limitada o nula participación en el mercado laboral. Noriega y Villegas (2017) formulan la hipótesis de que la mujer madre, al incorporarse al mercado de trabajo como agente económico, se ve obligada a distribuir su tiempo y activos no solo para su propio bienestar, sino también para garantizar la calidad de vida de las personas económicamente inactivas que dependen de ella.

En su contexto de libre mercado, donde la intervención del Estado es mínima, la población económicamente activa sostiene el peso económico de la población económicamente inactiva. Sin embargo, las mujeres madres enfrentan condiciones de desventaja frente al género complementario y frente a las mujeres sin hijos, debido a las responsabilidades adicionales derivadas del cuidado de sus dependientes. Estas responsabilidades afectan su capacidad de negociación laboral, su acumulación de activos y sus oportunidades de desarrollo económico.

En este sentido, las decisiones de consumo de las mujeres madres no dependen únicamente de sus necesidades y preferencias individuales, sino también de las necesidades de los hijos y otros dependientes. La reducción del tiempo de disponible obliga a estas mujeres a cumplir jornadas laborales similares a las de otros agentes económicos o, en su defecto, a asumir los costos económicos y sociales de no hacerlo.

Para Noriega y Villegas (2017), distinguir entre mujeres madres y género complementario transforma de manera sustancial la función de la sociedad económica. Desde esta perspectiva la teoría de la distribución deja de centrarse exclusivamente en la relación entre salarios y beneficios, y se

redefine en torno a la relación entre mujer madre y reproducción social. Asimismo, la teoría de los precios se modifica, ya que estos dejan de estar determinados únicamente por preferencias y tecnología, incorporando la composición de género de la comunidad y las decisiones económicas de las mujeres madres como factores fundamentales.

Reproducción social y desigualdad de género

La reproducción social se caracteriza por una fuerte desigualdad de género. Ser mujer madre, en el pasado, presente o futuro, implica una reducción de las capacidades que la sociedad les atribuye para participar activamente en la producción. El trabajo no remunerado realizado en el ámbito doméstico es intensivo en mujeres, mientras que la contribución masculina a la reproducción social es significativamente menor, fenómeno que ha sido identificado como una constante universal (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 1995).

Las actividades de reproducción social incluyen, entre otras, el cuidado de niños, ancianos y personas enfermas; la preparación de alimentos; la limpieza del hogar; el transporte y acompañamiento a servicios educativos y de salud; así como las actividades reproductivas biológicas. No obstante, estas asimetrías de género suelen ser excluidas o ignoradas en los modelos de equilibrio general competitivo, tanto en la Nueva Economía Keynesiana como en la Nueva Economía Clásica. En dichos enfoques, ni las mujeres madres ni las rentas derivadas de la reproducción social desempeñan un papel relevante en la determinación de equilibrios o desequilibrios macroeconómicos.

En la TIMT, los niveles de producción y empleo se determinan sin necesidad de relacionarse con precios y salarios, dado que la demanda de trabajo es independiente del salario nominal y real. En consecuencia, el mercado de trabajo en sentido estricto no existe. Los salarios nominales se constituyen como una variable distributiva exógena al sistema de mercados y previa a los procesos productivos.

Mientras que en la teoría neoclásica el salario real es el precio del trabajo, en la TIMT este representa la cuota de participación de los trabajadores en el producto social, negociada antes del intercambio y de la producción. Este enfoque permite comprender cómo las mujeres madres, debido a la división social del trabajo por género, asumen los costos más elevados de la reproducción social sin recibir una compensación proporcional.

La división social del trabajo ha generado consecuencias estructurales para las mujeres madres, tales como menores salarios, condiciones laborales desfavorables, limitadas oportunidades de desarrollo, marginación social e institucional, restricciones en el acceso al crédito y ausencia de sistemas de jubilación.

Desde la TIMT, la equidad entre mujeres madres y el resto de los agentes económicos solo puede alcanzarse cuando la tasa de descuento de género sea igual a cero. Esto requiere la exención total de las mujeres madres de los costos de la reproducción social, lo cual solo es posible mediante una

transformación del sistema institucional hacia un régimen de cobertura social. Dicho régimen debe incluir servicios públicos de cuidado, educación y salud, así como sistemas de subsidios que compensen el rol biológico de la maternidad. Bajo estas condiciones, el salario de las mujeres madres no debería ser inferior al del género complementario cuando el trabajo realizado sea equivalente, sino que debería reflejar plenamente su contribución económica y social (Noriega, y Villegas, 2017).

METODOLOGÍA

Para analizar los determinantes del empleo formal femenino en México en los últimos trimestres de los años 2020 y 2024 se utiliza la regresión logística, debido a la naturaleza binaria de la variable respuesta.

En general, en un modelo logístico con k variables independientes se tiene:

$$P(Y = 1|X) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)}}$$

O bien, de forma equivalente,

$$\log\left(\frac{P(Y = 1|X)}{P(Y = 0|X)}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

donde:

$P(Y=1 | X)$ representa probabilidad estimada del evento, en este caso, $Y=1$ se refiere al empleo formal, mientras que, $Y=0$ representa al empleo informal. Además, en modelo de regresión logística también suelen analizarse los efectos marginales de la variable X_j , los cuales se obtiene derivando la probabilidad respecto a esa variable:

$$\frac{\partial P(Y = 1 | X)}{\partial X_j}$$

Esto produce:

$$\frac{\partial P}{\partial X_j} = \beta_j P(Y = 1 | X) (1 - P(Y = 1 | X))$$

Lo que implica que el efecto marginal depende del coeficiente β_j y de la probabilidad estimada $P(Y=1 | X)$.

Así para llevar a cabo el análisis del empleo femenino en este artículo se utilizan los datos proporcionados por la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo correspondiente a los cuartos trimestres de los años 2020 y 2024, con el fin de analizar la recuperación posterior pandemia por COVID-19. Para esto se considera como variable dependiente a la condición de actividad, en donde se pueden encontrar dos categorías de clasificación: informal o formal (ver cuadro 1). Como variable explicativa se considera, en una primera regresión, a la variable Sexo, con la finalidad de analizar la influencia del género en la participación en el sector formal

del empleo. Posteriormente, en las siguientes regresiones se consideran a las siguientes variables independientes: Número de hijo, Nivel de instrucción y Estado civil (Millán-Vázquez, et al. 2015, Cañapatana y Quipe, 2020), estas variables solo se toman en cuenta si corresponden al género femenino, esto con el fin de poder visualizar de una manera más clara cómo estas variables influyen en que las mujeres trabajen, o no, en el sector formal. En el cuadro 1 se describen las variables a utilizar.

Cuadro 1. Tipo y construcción de variables

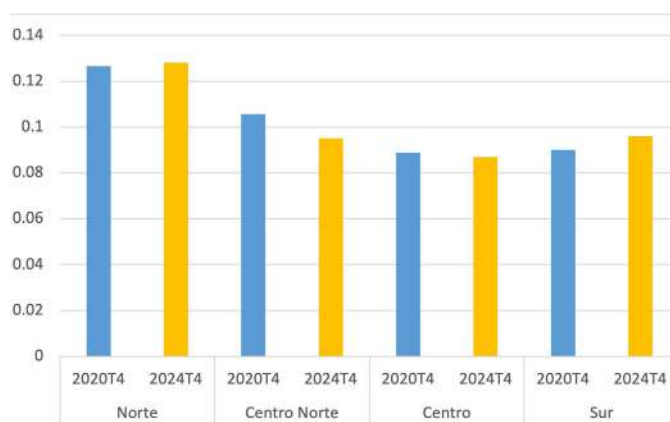
Variable	Tipo	Categorías
Dependiente		
Tipo de empleo	Dicotómica	0. Informal* 1. Formal
Independientes		
Sexo	Dicotómica	1. Hombre 0. Mujer*
Número de hijos por mujer	Categórica	0. Sin hijos* 1. De 1 a 2 hijos (hij_1_2) 2. De 3 a 5 hijos (hij_3_5) 3. De 6 hijos y más (hij_6+)
Nivel de instrucción	Categórica	0. Primaria incompleta* 1. Primaria completa (prim_com) 2. Secundaria completa (sec_com) 3. Medio superior y superior (m_supysup)
Estado civil	Categórica	0. unión libre* 1. separada 2. divorciada 3. viuda 4. casada 5. soltera

Nota. elaboración propia. * es la categoría de referencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para explicar el comportamiento del empleo femenino en México se utiliza la regionalización del Reporte de las Economías regionales de Banxico (2025): i) norte: Baja California, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas; ii) centro norte: Aguascalientes, Baja California Sur, Colima, Durango, Jalisco, Michoacán, Nayarit, San Luis Potosí, Sinaloa y Zacatecas; iii) centro: Ciudad de México, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala; y iv) sur: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.

Los resultados más sobre salientes sugieren lo siguiente, cuando se usa la variable sexo como explicativa del comportamiento del empleo se puede observar que en todas las regiones aumenta la probabilidad de que los hombres trabajen en el formal con respecto a las mujeres. En particular se observa que la desigualdad de género en el acceso al empleo formal es mayor en el norte del país. En este caso, ser hombre incrementa aproximadamente en 12.7 y 12.8%, para 2020T4 y 2024T4, respectivamente, la probabilidad de tener un empleo formal respecto a las mujeres (ver gráfica 1).



Gráfica 1. Efectos marginales del sexo en el empleo formal, 2020T4 vs 2024T4

Respecto a los demás determinantes del empleo formal para las mujeres, sus efectos marginales presentan una estructura relativamente estable entre el cuarto trimestre de 2020 y el de 2024, aunque con diferencias regionales que son importantes de destacar. En primer lugar, la gráfica 2, permiten observar que el nivel de instrucción es el factor más relevante para la inserción de la mujer al sector formal, ya que el efecto marginal asociado al nivel educativo aumenta conforme se avanza en la escolaridad, resultados similares obtienen Ovando, et al. (2021) y Torres, et al. (2022).

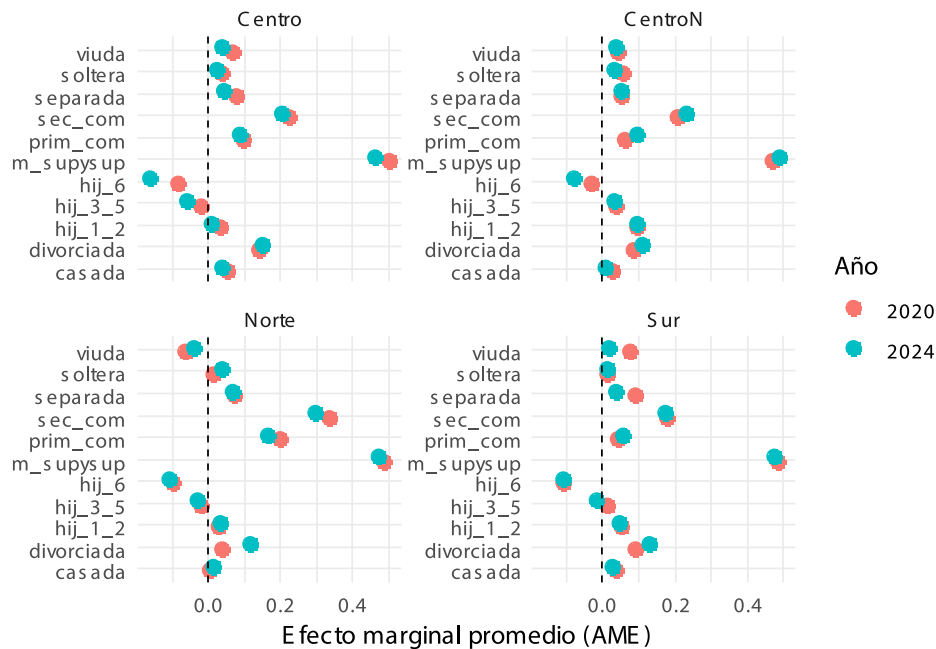
Además, el factor nivel de instrucción es estadísticamente significativo en todas las regiones (ver cuadro 2).

En particular, de acuerdo con los resultados del cuadro 2, contar con educación media superior o superior incrementa de manera sustancial la probabilidad de que la mujer tenga un empleo en el sector formal, con efectos cercanos a 50.0%. En contraste, el número de hijos muestra efectos heterogéneos. Mientras que tener uno o dos hijos se asocia con una mayor probabilidad de participación en el sector formal en algunas regiones (especialmente en el Centro Norte con 9.3 y 9.5%, para 2020 y 2024 respectivamente), el efecto se vuelve negativo conforme aumenta el número de hijos, reflejo del rol de la mujer madre como establecen Noriega y Villegas (2017).

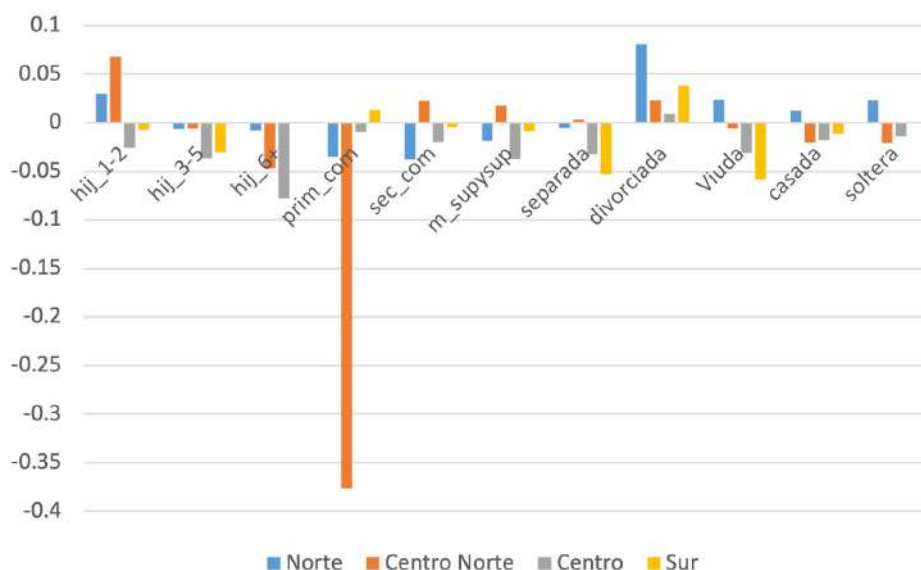
Cuadro 2. Efectos marginales de los determinantes del empleo formal femenino por regiones, 2020T4 vs 2024T4

Variable	Región							
	Norte		Centro Norte		Centro		Sur	
	2020T4	2024T4	2020T4	2024T4	2020T4	2024T4	2020T4	2024T4
hij_1-2	0.030 (0.016)	0.034 (0.002)	0.093 (0.000)	0.095 (0.000)	0.033 (0.001)	0.007 (0.000)	0.053 (0.000)	0.046 (0.000)
hij_3-5	-0.021 (0.137)	-0.028 (0.027)	0.039 (0.002)	0.033 (0.002)	-0.021 (0.092)	-0.058 (0.000)	0.012 (0.321)	-0.018 (0.089)
hij_6+	-0.098 (0.006)	-0.106 (0.021)	-0.033 (0.222)	-0.080 (0.002)	-0.084 (0.003)	-0.162 (0.000)	-0.108 (0.000)	-0.109 (0.000)
prim_com	0.201 (0.000)	0.166 (0.000)	0.063 (0.001)	0.095 (0.000)	0.096 (0.000)	0.087 (0.000)	0.041 (0.000)	0.055 (0.000)
sec_com	0.334 (0.000)	0.296 (0.000)	0.208 (0.000)	0.230 (0.000)	0.225 (0.000)	0.205 (0.000)	0.179 (0.000)	0.175 (0.000)
m_supysup	0.487 (0.000)	0.469 (0.000)	0.472 (0.000)	0.489 (0.000)	0.500 (0.000)	0.463 (0.000)	0.482 (0.000)	0.473 (0.000)
separada	0.072 (0.000)	0.067 (0.000)	0.049 (0.003)	0.052 (0.000)	0.077 (0.000)	0.045 (0.001)	0.091 (0.000)	0.037 (0.003)
divorciada	0.036 (0.081)	0.116 (0.000)	0.085 (0.000)	0.108 (0.000)	0.142 (0.000)	0.151 (0.000)	0.091 (0.000)	0.129 (0.000)
viuda	-0.062 (0.009)	-0.038 (0.063)	0.042 (0.040)	0.036 (0.035)	0.069 (0.001)	0.039 (0.032)	0.076 (0.000)	0.017 (0.316)
casada	0.003 (0.780)	0.016 (0.138)	0.027 (0.019)	0.007 (0.494)	0.054 (0.000)	0.036 (0.000)	0.039 (0.000)	0.028 (0.002)
soltera	0.016 (0.258)	0.039 (0.001)	0.054 (0.000)	0.033 (0.002)	0.039 (0.001)	0.025 (0.011)	0.014 (0.237)	0.014 (0.140)

Los valores entre paréntesis denotan el valor p de la estimación



Gráfica 2. Efectos marginales del empleo formal femenino



Gráfica 3. Cambio en los determinantes del empleo formal femenino, comparación 2020T4-2024T4

Este patrón que se intensifica en 2024 en regiones como el Centro donde tener más de 6 hijos reduce la posibilidad de que las mujeres trabajen en el sector formal en 16.2% y 10.9% en el Sur. Este resultado sugiere que las restricciones asociadas al cuidado continúan limitando el acceso a empleos formales. Por su parte, el estado civil también influye en la inserción al empleo formal, destacando efectos positivos para mujeres separadas y divorciadas, lo que podría reflejar una mayor necesidad de ingresos propios.

Por otra parte, el análisis del cambio en los efectos marginales entre el cuarto trimestre de 2020 y el de 2024 muestra que la recuperación del empleo formal femenino posterior a la pandemia presenta diferencias regionales importantes. En términos generales, el efecto asociado al número de hijos se vuelve más negativo en varias regiones, particularmente en el Centro y Centro Norte (ver gráfica 2). En contraste, en el Norte se observa un ligero aumento en el efecto positivo de tener uno o dos hijos, lo que podría reflejar condiciones laborales más favorables para la conciliación entre trabajo y familia.

Finalmente, los cambios asociados al nivel educativo son relativamente moderados en la mayoría de las regiones, aunque destaca la reducción del efecto de la educación primaria en el Centro Norte (-0.4 puntos porcentuales aproximadamente). En cuanto al estado civil, las mujeres divorciadas presentan incrementos en su probabilidad de empleo formal en todas las regiones, especialmente en el Norte, mientras que los efectos para viudas y casadas tienden a disminuir.

CONCLUSIONES

El análisis realizado permite identificar patrones claros en los determinantes de la formalidad laboral y, particularmente, en las diferencias que persisten entre hombres y mujeres en el acceso a empleos formales en México. A partir

de la estimación de modelos de regresión logística para el cuarto trimestre de 2020 y el cuarto trimestre de 2024, los resultados evidencian que el sexo, el nivel de instrucción, el número de hijos y el estado civil, permiten identificar distintos mecanismos de desigualdad en el mercado de trabajo.

En primer lugar, los resultados muestran la persistencia de una brecha de género en el acceso al empleo formal. En todas las regiones analizadas, ser hombre incrementa la probabilidad de tener un empleo formal respecto a las mujeres, siendo más pronunciada en la región norte del país y ligeramente menor en el centro y el sur.

Un segundo resultado relevante del análisis se relaciona con el nivel de instrucción, el cual aparece como uno de los factores más importantes para que las mujeres accedan a empleos formales. En general, mayores niveles educativos incrementan de manera significativa la probabilidad de inserción en el sector formal. Este resultado es consistente con la literatura donde se señala que el sistema educativo funciona como un mecanismo de acceso a empleos de mayor calidad. Sin embargo, existen otros factores que resultaron determinantes para que una mujer se pueda emplear en el sector formal, uno de ellos tiene que ver con el número de hijos, de acuerdo con los resultados, se encontró que esta variable tiende a reducir la probabilidad de inserción en el empleo formal, en el caso de las mujeres. Este resultado se relaciona con la hipótesis del rol de la mujer madre, la cual refleja cómo las responsabilidades de cuidado continúan recayendo de manera desproporcionada sobre las mujeres.

De manera complementaria, el estado civil también muestra efectos relevantes en la probabilidad de acceso a la formalidad. Dependiendo de la condición conyugal, las decisiones de participación laboral de las mujeres pueden verse influenciadas. Los resultados muestran que, en algunos casos, que las mujeres estén separadas o divorciadas aumenta la probabilidad de tener un trabajo formal.

REFERENCIAS

- Cañapatana, W., y Quispe, D. (2020). Factores determinantes del empleo informal en la región Moquegua (Determinants of Informal Employment in the Moquegua Region). *VERITAS*, 21(1), 39-44. <https://doi.org/10.35286/veritas.v21i1.256>
- Esquivel, G. (2020). Los impactos económicos de la pandemia en México (The Economic Impacts of the Pandemic in Mexico). *Economía UNAM*, 17(51), 28-44. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/4114626>
- Jaramillo, M., y H. Ñopo (2020). *COVID-19 y shock externo: impactos económicos y opciones de política en el Perú* (COVID-19 and External Shocks: Economic Impacts and Policy Options in Peru) (Documentos de Investigación, no. 107). GRAD
- Mendoza-Cota, J. E. (2020). COVID-19 y el empleo en México: impacto inicial y pronósticos de corto plazo (COVID-19 and Employment in Mexico: Initial Impact and Short-Term Forecasts), *Contaduría y Administración*, 65(5), 1-18 <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2020.3028>
- Millán-Vázquez, M. G., Santos-Pita, M. y Pérez-Naranjo, L. (2015). Análisis del mercado laboral femenino en España: evolución y factores socioeconómicos determinantes del empleo (Analysis of the Female Labor Market in Spain: Evolution and Socioeconomic Factors Determining Employment), *Papeles de Población*, 21(84),197-225. <https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/8320>
- Noriega, F., y C. Villegas (2017). *Mulier Oeconomica. Economía de la mujer en la teoría de la inexistencia del mercado de trabajo* (Mulier Oeconomica: Women's Economics in the Theory of the Non-Existence of the Labor Market). El Colegio Mexiquense, A. C.
- Ovando-Aldana, W., Rivera-Rojo, C. y Salgado Vega, M. (2021). Características del empleo informal en México, 2005 y 2020 (Characteristics of Informal Employment in Mexico, 2005 and 2020). *Papeles de Población*, 7(108), 147-184. <https://doi.org/10.22185/24487147.2021.108.15>
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (1995). Informe sobre Desarrollo Humano 1995: Género y Desarrollo Humano (Human Development Report 1995: Gender and Human Development). PNUD.
- Ruesga, S. (2020). La economía española y el Covid-19: ¿hacia una "nueva" normalidad? (The Spanish Economy and COVID-19: Towards a "New" Normal?) *Economía UNAM*, 17(51), 101-125. <http://revistaeconomia.unam.mx/index.php/ecu/article/view/550/583>
- Samaniego, N. (2020). *El empleo y el Covid-19* (Employment and COVID-19). Seminario Universitario de la Cuestión Social. PUED, UNAM. <https://pued.unam.mx/export/sites/default/archivos/SUCS/2020/r170620.pdf>
- Torres, A., Ochoa, G. y Pedroza, D. (2022). Determinantes de la participación económica de la mujer en México: un enfoque de calificación laboral (Determinants of Women's Economic Participation in Mexico: A Labor Skills Approach), *Revista de Economía*, 39(98), 69-93. <https://doi.org/10.33937/reveco.2022.250>

Este libro reúne voces y trayectorias que, a través de testimonios, investigaciones y propuestas desde distintos países de América Latina, muestra cómo las preguntas, las prácticas y las instituciones reflejan intereses, desigualdades y posibilidades. Es un mapa para entender por qué incorporar pluralidad de perspectivas no sólo enriquece el conocimiento, sino que mejora su pertinencia y su impacto social.

Más allá del diagnóstico, ofrece herramientas y propuestas concretas para transformar aulas, laboratorios y políticas públicas: modelos institucionales, prácticas docentes y recursos técnicos pensados para promover equidad y excelencia. Es un llamado urgente a investigadoras, decisoras, financiadoras y comunidades: solo fortaleciendo y visibilizando la diversidad de voces que la sostienen, la ciencia podrá ser más justa, pertinente y eficaz.

This book brings together voices and trajectories that, through testimonies, research, and proposals from different countries in Latin America, show how questions, practices, and institutions reflect interests, inequalities, and possibilities. It serves as a map to understand why incorporating a plurality of perspectives not only enriches knowledge but also enhances its relevance and social impact.

Beyond diagnosis, it offers practical tools and concrete proposals to transform classrooms, laboratories, and public policies: institutional models, teaching practices, and technical resources designed to promote equity and excellence. It is an urgent call to researchers, decision-makers, funders, and communities: only by strengthening and making visible the diversity of voices that sustain it can science become more just, relevant, and effective.