



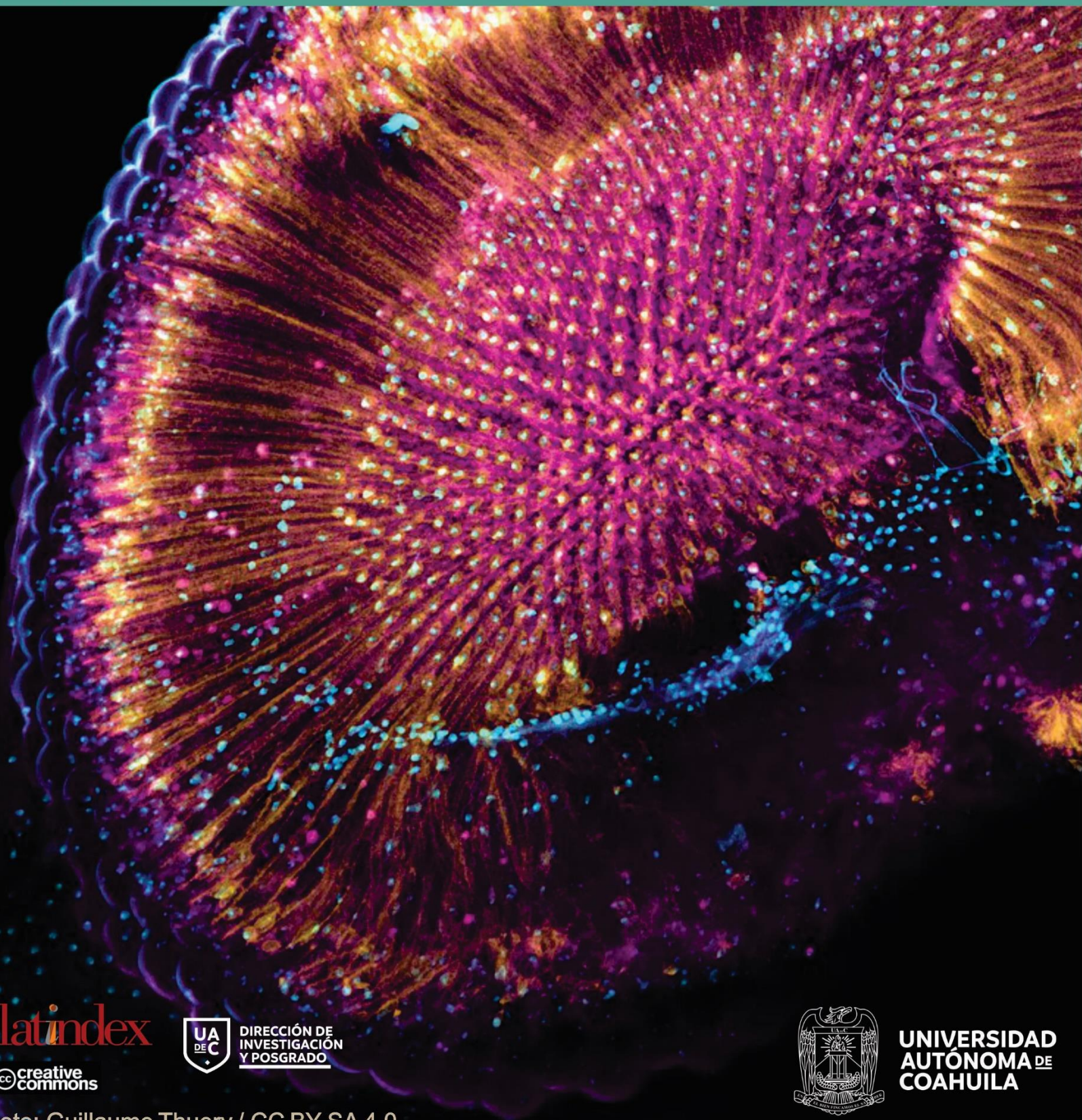
CienciAcierta

AÑO 22, NÚMERO 85

ISSN: 2683-1848

ENERO-MARZO 2026

Latindex: 30518



latindex



DIRECCIÓN DE
INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO

cc creative commons



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
COAHUILA

Foto: Guillaume Thuery / CC BY-SA 4.0

PUBLICADA DESDE 2005

ISSN 2683-1848

CIENCIACIERTA, AÑO 22, NO. 85 ENERO-MARZO 2026, ES UNA PUBLICACIÓN TRIMESTRAL EDITADA POR LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA, BOULEVARD VENUSTIANO CARRANZA S/N, COLONIA REPÚBLICA ORIENTE, C.P. 25380, SALTILLO, COAHUILA. EDITOR RESPONSABLE: DRA. ANNA ILINA. RESERVA DE DERECHOS AL USO EXCLUSIVO NO. 04-2019-010914143600-203, ISSN: 2683-1848, AMBOS OTORGADOS POR EL INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR. RESPONSABLE DE LA ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN DE ESTE NÚMERO, DEPARTAMENTO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA DE LA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO UADEC, LIC. LOYDA ESTHER GIL NORIEGA, EDIFICIO D, PLANTA ALTA, UNIDAD CAMPORREDONDO, SALTILLO, COAHUILA, C.P. 25280, FECHA DE ÚLTIMA, ACTUALIZACIÓN 1° DE ENERO DE 2026.

CIENCIACIERTA ES UNA PUBLICACIÓN CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y HUMANÍSTICA, MULTIDISCIPLINARIA CUYO OBJETIVO ES DIVULGAR EL AVANCE DEL CONOCIMIENTO, SE ENFOCA EN LAS SIGUIENTES ÁREAS: CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS; INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA; MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD; CIENCIAS SOCIALES Y DEL COMPORTAMIENTO; HUMANIDADES Y ARTE; CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y DE GESTIÓN; Y ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO.

TODO EL MATERIAL PUBLICADO CUENTA CON UN REPORTE DE ANÁLISIS DE SIMILITUD FAVORABLE Y HA SIDO SOMETIDO A UN PROCESO DE EVALUACIÓN DE DOBLE CIEGO POR PARES ACADÉMICOS EXTERNOS A LA UADEC.

EN PORTADA

Comenzamos el 2026 con una nueva presencia en nuestras portadas: **la fotografía científica**. Nacida del encuentro entre la ciencia y el desarrollo tecnológico, la fotografía ha respondido tanto a un impulso estético como al deseo de comprender el mundo, y en ese camino se ha convertido en una herramienta fundamental para la ciencia. Gracias a ella es posible observar lo remoto, lo insólito, lo que escapa a los límites del ojo humano. La fotografía científica no solo revela conocimiento: también despierta asombro y belleza en quien la mira. Por eso, en CIENCIACIERTA, la hemos elegido como compañera de cada portada, símbolo de nuestra vocación por difundir y celebrar la ciencia.

La imagen muestra una **retina de *Drosophila melanogaster* (mosca de la fruta) en degeneración, tras expresar una forma tóxica de la proteína RdgB**. Autor: Guillaume Thuery. Subida por el autor al concurso Wiki Science Competition 2023, 13 diciembre 2021. Licenciada bajo Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Enlace al archivo original: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Degenerating-drosophila-retina.jpg> Wikimedia Commons. Sin modificaciones.



CienciAcierta

CONSEJO EJECUTIVO EDITORIAL

Dra. Anna Iliná

EDITOR

annailina@uadec.edu.mx

Dr. Luis Gutiérrez Flores

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y
POSGRADO

luis.gutierrez@uadec.edu.mx

Dr. David Castro Lugo

SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN-DIP

david.castro@uadec.edu.mx

Lic. Loyda E. Gil Noriega

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA-DIP

logiln@uadec.edu.mx

COMITÉ TÉCNICO EDITORIAL NACIONAL E INTERNACIONAL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ÍNDICE

DETECCIÓN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA CONTROLAR AUTOMÁTICAMENTE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO MEDIANTE TÉCNICAS DE VISIÓN POR COMPUTADORA	1
<i>DETECTION OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT OF AUTOMATIC WORKSTATION CONTROL USING COMPUTER VISION TECHNIQUES</i>	
Dulce Mariana Aldaba Lucio, Carlos Alberto Toro Arcila, Josué Gómez Casas, Marco Antonio Silva De León, Jonathan Sebastián Obregón Flores, Daniela Estefanía Ortiz Ramos y Jesús Salvador Galindo Valdés	
HERBICIDAS NATURALES COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE A LOS HERBICIDAS QUÍMICOS SINTÉTICOS	13
<i>NATURAL HERBICIDES AS A VIABLE ALTERNATIVE TO SYNTHETIC CHEMICAL HERBICIDES</i>	
Martha M. Orozco Sifuentes, Rocío Castillo Godina, Sandra Cecilia Esparza González, Raúl Rodríguez Herrera, Claudia M. López Badillo, M. Sánchez Vega y Aidé Sáenz Galindo	
ESPACIO PÚBLICO Y SU VEGETACIÓN EN LA CIUDAD DE MATAMOROS, COAHUILA	28
<i>PUBLIC SPACE AND ITS VEGETATION IN THE CITY OF MATAMOROS, COAHUILA</i>	
Jaqueline García Castillo, Jorge Villanueva Solís, Andrés Quiroa Hernández Alleck González Calderón y Héctor Llaven José	
POLÍMEROS DE COORDINACIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA DETECCIÓN DE CONTAMINANTES	48
<i>COORDINATION POLYMERS AND APPLICATION IN SENSING OF POLLUTANTS</i>	
Antonio Téllez López y Víctor Sánchez Mendieta	
EL CONCIERTO DIDÁCTICO: ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO DE HABILIDADES PEDAGÓGICO-MUSICALES	62
<i>THE DIDACTIC CONCERT: STRATEGY FOR DEVELOPMENT OF PEDAGOGICAL-MUSICAL SKILLS</i>	
Norma Etela Jiménez Díaz, Gerardo Monjarás Luna	
COMPRENDIENDO LOS ARMÓNICOS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA	79
<i>UNDERSTANDING HARMONICS IN POWER ELECTRICAL SYSTEMS</i>	
Obed Ramírez Gómez, Felipe Alberto Machorro Fernández, Arturo Gerardo Guerrero Martínez y Jesús Guerrero Contreras	

**¿POR QUÉ USAR UN SISTEMA DIFUSO PARA EVALUAR LA CREATIVIDAD?
UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA**

97

*WHY USE A FUZZY SYSTEM TO ASSESS CREATIVITY: A SYSTEMATIC REVIEW
OF LITERATURE*

Edén Patricia Calvillo Martínez, Rolando Javier Praga Alejo y María
Eugenia Molar Orozco

**IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA TEXTIL Y ESTRATEGIAS
SOSTENIBLES PARA SU MITIGACIÓN**

109

*ENVIRONMENTAL IMPACTO OF TEXTIL INDUSTRY AND STRATEGIES FOT ITS
MITIGATION*

David Izquierdo Duarte, Víctor Javier Cruz Delgado, Carlos Alberto
Ávila Orta y Heidi Andrea Fonseca Florido

**APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE
PERSONAS EN RIESGO DE DIABETES**

124

*APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR DETECT INDIVIDUALS AT RISK OF
DIABETES*

Brenda Margarita Salas Ramos, Jesús Alejandro Navarro Acosta,
Irma Delia García Calvillo y Gloria Isela Mendoza Frías

**REVALORACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS MEDIANTE TECNOLOGÍAS
VERDES: OBTENCIÓN DE MATERIALES CELULÓSICOS PARA APLICACIONES
SOSTENIBLES**

132

*VALORIZATION OF AGRICULTURAL RESIDUES USING GREEN
TECHNOLOGIES: EXTRACTION OF CELLULOSIC MATERIALS FOR
SUSTAINABLE APPLICATIONS*

Gabriela Y. Romero Zúñiga y Florentino Soriano Corral

DETECCIÓN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA CONTROLAR AUTOMÁTICAMENTE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO MEDIANTE TÉCNICAS DE VISIÓN POR COMPUTADORA

DETECTION OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT OF AUTOMATIC WORKSTATION CONTROL USING COMPUTER VISION TECHNIQUES

DULCE MARIANA ALDABA LUCIO

CARLOS ALBERTO TORO ARCILA

JOSUÉ GÓMEZ CASAS

MARCO ANTONIO SILVA DE LEÓN

JONATHAN SEBASTIÁN OBREGÓN
FLORES

DANIELA ESTEFANÍA ORTIZ RAMOS

JESÚS SALVADOR GALINDO VALDÉS

Facultad de Ingeniería,
Unidad Surete, UAdeC.

RESUMEN

La presente investigación se enfoca en el desarrollo de un sistema automático para la detección de elementos de protección personal (EPP) en estaciones de trabajo, utilizando la técnica de patrones binarios locales (LBP, por sus siglas en inglés) y la biblioteca OpenCV en Python, con el objetivo de automatizar el control de seguridad en dichos entornos. De este modo, se plantea como objetivo desarrollar una herramienta que contribuya a la reducción de accidentes laborales mediante la supervisión automática del uso adecuado de los EPP. Los algoritmos de visión por computadora utilizados permiten que la estación de trabajo funcione cuando se detecta que el personal está utilizando el EPP, por ejemplo, cubrebocas y lentes de seguridad. De acuerdo con datos reportados por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) es necesario implementar soluciones tecnológicas para la prevención de lesiones en estado de trabajo. La integración de inteligencia artificial en la detección de EPP no solo mitiga riesgos, sino que también fomenta la cultura de la seguridad y el cumplimiento en entornos industriales. En experimentos realizados en una estación de trabajo en el laboratorio, se logró una confiabilidad de 85 % en la detección de cubrebocas y un 93 % en la detección de lentes de seguridad.

Palabras clave: visión por computadora; reconocimiento facial; patrones binarios locales; automatización; inteligencia artificial; elementos de protección personal.

Correspondencia

vmartinezlanderos@uadec.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5881-4048>

Fecha de recepción

4 de abril de 2025.

Fecha de aceptación

14 de mayo de 2025.

ABSTRACT

This research focuses on developing an automated system for detecting personal protective equipment (PPE) in a workstation, using the Local Binary Patterns (LBP) technique and the OpenCV library in Python, to automate safety control in such environments. The objective is to develop a tool that contributes to reducing workplace accidents by automatically monitoring proper PPE usage. The computer vision algorithms enable the workstation to operate only when it detects personnel wearing the required PPE, such as face masks and safety glasses. According to data reported by the Mexican Social Security Institute (IMSS), it is necessary to implement technological solutions to prevent workplace injuries. Integrating artificial intelligence in PPE detection mitigates risks and promotes a culture of safety and compliance in industrial environments. In experiments conducted at a laboratory workstation, an 85% reliability rate was achieved for face mask detection and 93% for safety glasses detection

Keywords: computer vision; facial recognition; local binary patterns; automation; artificial intelligence; personal protective equipment.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos los seres humanos han empleado nombres y apodos como mecanismos de identificación, sin embargo, el rostro constituye un elemento único e irrepetible que permite distinguir a cada individuo (Moreano y col., 2017). En este sentido, el reconocimiento facial adquiere relevancia por su alta versatilidad y amplio potencial de aplicación en diversos ámbitos, tales como la seguridad y el control de acceso, la automatización de procesos, la atención médica y la prevención durante pandemias, así como en contextos legales, educativos y de gestión de eventos públicos.

Diversas investigaciones han evidenciado que el rostro es uno de los rasgos más memorables para los seres humanos. A partir de este principio, se han desarrollado tecnologías que integran algoritmos avanzados para aplicaciones en reconocimiento de objetos, diagnóstico médico y sistemas de seguridad. En las primeras etapas del desarrollo del reconocimiento facial se utilizaron algoritmos simples basados en técnicas estadísticas y análisis



geométrico de las características faciales. No obstante, estas metodologías presentaban limitaciones, como la propensión a errores de identificación que derivaban en falsos positivos (Moreano y col., 2017).

En el ámbito industrial el uso inadecuado de los equipos de protección personal (EPP), como cubrebocas y lentes de seguridad, así como la falta de mecanismos de control eficaces, incrementa significativamente el riesgo de accidentes laborales y, en consecuencia, de incapacidades. Esto compromete la seguridad del trabajador en las estaciones de trabajo. Frente a este problema, las técnicas de visión por computadora basadas en algoritmos de reconocimiento facial representan una alternativa viable para detectar automáticamente el uso correcto de EPP. De este modo, es posible implementar sistemas de control que regulen el encendido y apagado automático de estaciones de trabajo con el fin de salvaguardar la integridad física del operador (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2021).

De acuerdo con el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), los accidentes laborales se originan, en su mayoría, por condiciones peligrosas asociadas a equipos, herramientas e instalaciones, así como por actos inseguros cometidos por los propios trabajadores. Muchos de estos incidentes podrían evitarse mediante la promoción de una auténtica cultura de prevención. Según datos del IMSS, excluyendo los años afectados por la pandemia debido a la alteración en el mercado laboral, se ha registrado un promedio anual de 410 mil accidentes laborales en la última década, lo que equivale a 2.2 eventos por cada cien trabajadores. Por su parte, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) estima que aproximadamente 1.9 millones de personas fallecen cada año a nivel mundial como consecuencia de accidentes y enfermedades ocupacionales. En este contexto, el IMSS identifica al menos doce condiciones peligrosas y actos inseguros que generan accidentes laborales, entre los cuales destaca la omisión en el uso del equipo de protección personal (Instituto Mexicano del Seguro Social, s.f.).

El objetivo de la presente investigación es desarrollar e implementar un algoritmo de control automático para el encendido y apagado de una estación de trabajo en un entorno de laboratorio, utilizando técnicas de visión por computadora para la detección del uso correcto de EPP (cubrebocas y lentes de seguridad) por parte del operador.

Este estudio emplea técnicas clásicas de visión por computadora con el propósito de garantizar la correcta utilización de los equipos de protección

personal en estaciones de trabajo. Dado que la omisión del uso de EPP constituye una de las principales causas de accidentes laborales, según estadísticas del IMSS, el presente proyecto busca, además, establecer una interfaz de comunicación entre el sistema computacional y los dispositivos de potencia (motores) de la estación de trabajo, a fin de automatizar su operación en función del cumplimiento de las medidas de seguridad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Figura 1 presenta la metodología utilizada en el desarrollo del proyecto, cuyo objetivo principal fue diseñar e implementar algoritmos capaces de controlar de forma automática el arranque y paro de una estación de trabajo, en función del uso correcto del equipo de protección personal (EPP). Para ello se emplearon dos bancos de imágenes de dominio público: uno con fotografías de personas con y sin cubrebocas (GabySol, 2021) y otro con imágenes de personas con y sin lentes de seguridad.

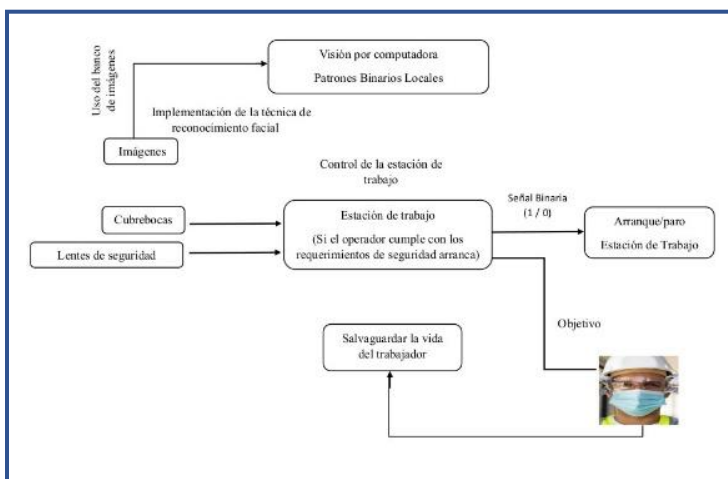


Figura. 1. Metodología experimental.

A partir de estos bancos de datos se entrenaron dos algoritmos de reconocimiento facial utilizando la técnica de patrones binarios locales (LBP), implementada con la biblioteca OpenCV en Python. Uno de los algoritmos se encargó de detectar el uso de cubrebocas, y el otro, la presencia de lentes de seguridad. Ambos modelos procesan imágenes captadas por una cámara web, generando dos salidas: una predicción binaria (1 = porta EPP; 0 = no

porta EPP) y un valor de confiabilidad, expresado como porcentaje, que indica la certeza de la predicción.

Con base en estas predicciones se desarrolló un sistema de comunicación entre la computadora portátil y los componentes eléctricos de la estación, como el motor. Si la predicción es positiva (1), se permite el encendido de la estación; si es negativa (0), se bloquea el paso de corriente al motor, asegurando que el sistema sólo funcione cuando el operador porta el EPP requerido, lo que garantiza un entorno de trabajo seguro.

Para la implementación del sistema se utilizaron diversos equipos y materiales. La computadora principal fue una laptop Lenovo con procesador Intel i5-1155G7 a 2.5 GHz, 8 GB de RAM, disco SSD de 512 GB y sistema operativo Windows 11 Home SL. La estación de trabajo incluía una banda transportadora construida con tubulares de PTR, con dimensiones aproximadas de dos metros de largo por un metro de ancho. Esta cinta giraba de forma continua sobre dos rodillos en los extremos, accionada por un motor Dayton, modelo 5K342, referencia M61183 GZ, con una potencia de 1 HP, velocidad de 1725 RPM, frecuencia de 60 Hz y voltaje de 115/208–230 V.

El sistema de control utilizó un microcontrolador Arduino Uno, que ejecutaba de forma autónoma un programa cargado previamente desde el ordenador. Este microcontrolador, según Peña (2020), puede tomar decisiones y controlar dispositivos mediante sensores y actuadores. Para encender o apagar el motor se usó un relevador de potencia de 5V, actuando como un interruptor electromagnético (Das, 2018). El motor, que opera en un rango de 110 a 210 V, convierte energía eléctrica en energía mecánica para mover la banda transportadora (Gómez Suárez, 2020). Asimismo, se emplearon cables eléctricos para interconectar todos los componentes del sistema (Oña & Ruales, 2024). La metodología aplicada se desarrolló en tres etapas principales:

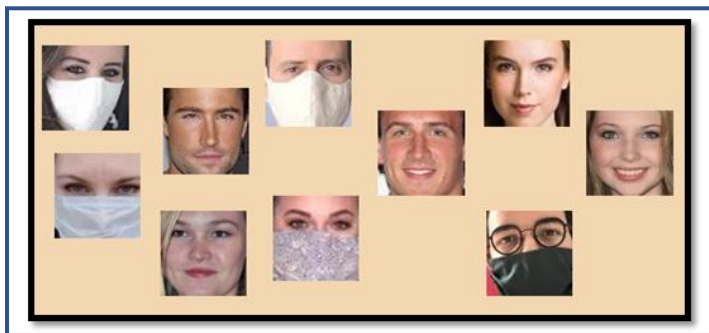


Figura. 2. Recopilación de rostros para emplear el banco de imágenes.

ETAPA 1. ACOPIO DE IMÁGENES

Se recopilaron bancos de imágenes de dominio público como se muestra en la Figura 2. El primero contenía dos mil imágenes clasificadas en dos categorías: con cubrebocas y sin cubrebocas.

El segundo banco también incluía dos mil imágenes divididas entre personas con y sin lentes de seguridad, como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Imagen de cómo debe quedar el banco de imágenes en las dos carpetas.

ETAPA 2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Los detectores de EPP fueron entrenados con estas imágenes utilizando la técnica LBP y OpenCV en Python. Los modelos resultantes fueron guardados en archivos XML para su uso posterior.

ETAPA 3. ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES

Una vez entrenados, los modelos recibían imágenes RGB desde la cámara web, procesaban la información y generaban la predicción binaria. Se diseñó un algoritmo en Python para establecer la comunicación entre la computadora y el motor, enviando una señal a través del puerto serie al Arduino Uno. Este, a su vez, activaba o desactivaba el relevador de potencia, permitiendo o interrumpiendo el paso de corriente al motor según la predicción. De este modo, la estación solo se pone en funcionamiento si el operador porta adecuadamente el EPP requerido.

POBLACIÓN Y MUESTRA

Este proyecto va dirigido a trabajadores de entre 18 y 50 años porque representan la población laboralmente activa con mayor adaptabilidad, experiencia y capacidad productiva. Además, este rango permite un enfoque más eficiente en términos de impacto y ejecución del proyecto.

Se tomó la decisión de utilizar bancos de imágenes de dominio público para evitar problemas de licenciamiento y permisos de uso.

ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES

Con los modelos entrenados para la detección de los EPP (cubrebocas y lentes de seguridad) se diseñó un algoritmo el cual toma como entrada la imagen RGB de la cámara web, luego pasa la imagen por el modelo de detección de EPP (cubrebocas o lentes de seguridad) y obtiene la predicción binaria, 1 = con EPP o 0 = sin EPP, según sea el caso. Además, se diseñó una interfaz para establecer la comunicación entre la computadora y el motor de la estación de trabajo, para lo cual se creó un algoritmo en Python que toma como entrada la predicción (0 o 1) del detector y dependiendo del valor de esta envía una señal por puerto serie al Arduino Uno, el cual activa o desactiva el relevador, permitiendo o interrumpiendo el paso de corriente al motor.

LIMITACIONES

Algunos aspectos que se deben tomar en cuenta para el correcto funcionamiento del algoritmo son: las condiciones de iluminación, que la persona debe permanecer con los ojos abiertos y que no realice movimientos bruscos: en la Figura 4 se pueden observar algunos de los fallos generados por este tipo de condiciones.

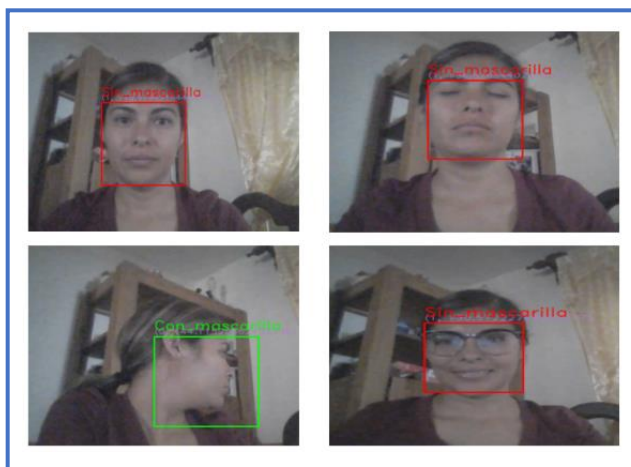


Figura 4. Imágenes de las limitaciones del algoritmo.

SET EXPERIMENTAL

En la Figura 5 se presenta el diagrama de conexión eléctrica del sistema compuesto por el motor, el Arduino Uno y el Relevador. En la Figura 6 se muestra una imagen lateral de la estación de trabajo (banda transportadora) y la cámara web utilizadas para los experimentos.

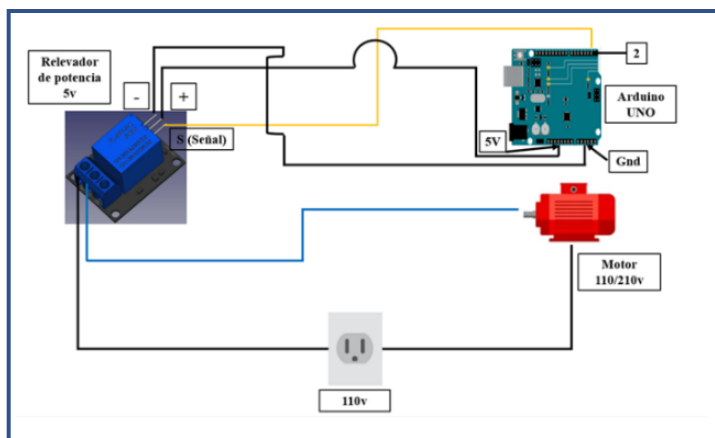


Figura 5. Diagrama eléctrico de la conexión de la banda transportadora.

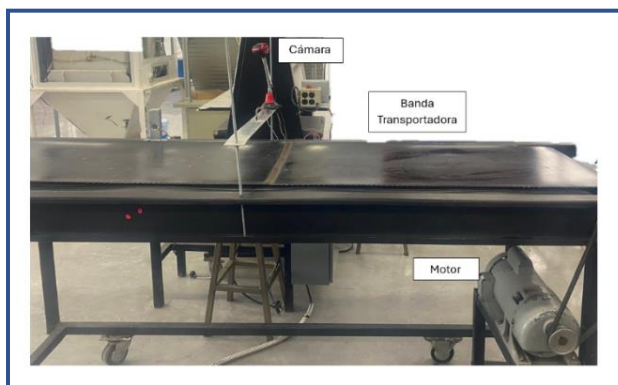


Figura 6. Imagen de la banda transportadora.

RESULTADOS

Para la detección del cubrebocas se empezó con un banco de 770 imágenes, obteniendo una confiabilidad de 52 %. Con el objetivo de mejorar este resultado se aumentó el conjunto de datos a dos mil imágenes, lo que permitió alcanzar una confiabilidad de 85 %. Posteriormente, se aumentó el banco de imágenes a cuatro mil, sin embargo, en lugar de aumentar, la confiabilidad disminuyó. Por lo tanto, se optó por mantener el banco de dos mil imágenes, ya que resultó ser el más confiable. En la Figura 7 se presentan los resultados del algoritmo de detección de cubrebocas: en el lado izquierdo se muestra la detección "Sin cubrebocas" con una confiabilidad de 81.5 % y a la derecha se puede observar la detección "Con cubrebocas" con 82.6 % de confiabilidad (Ver video en https://drive.google.com/file/d/1yOvfzglf_Zb750uGhEqQ3DUyVICNRHc8/view?usp=sharing).

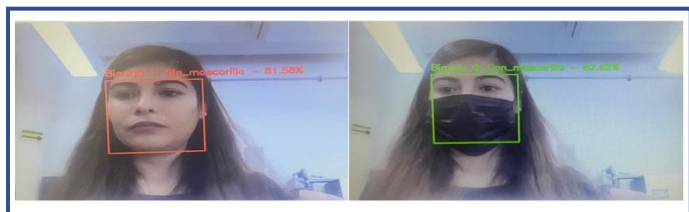
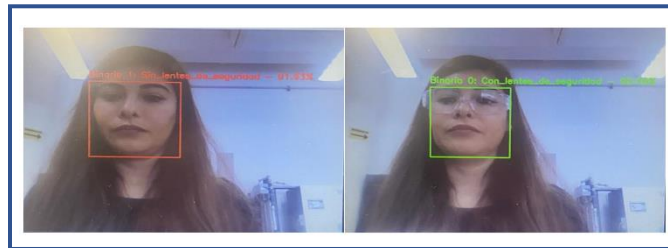


Figura 7. Resultado de las imágenes de la detección de cubrebocas después de correr el programa.

Para el entrenamiento del modelo de detección de los lentes de seguridad se inició con un banco de quinientas de imágenes, con el cual se obtuvo una confiabilidad de 79 %. Luego se aumentó a dos mil imágenes, el cual arrojó una confiabilidad de 93 %. En la Figura 8 se presentan los resultados obtenidos con el modelo para la detección de lentes de seguridad, a la izquierda la detección “Sin lentes de seguridad” con 91.4 % de confiabilidad y a la derecha la detección “Con lentes de seguridad” con 92.4 % de confiabilidad (Ver video en <https://drive.google.com/file/d/1Zg9NRhWJgyAwPWZUEFhBxNGLXzxZ2Rpg/view?usp=sharing>).

Figura 8. Resultado de las imágenes de la detección de lentes de seguridad después de correr el programa.



Con los resultados obtenidos se puede observar que es posible integrar tecnologías de vanguardia, como lo son la visión por computadora, la programación y la automatización industrial para generar soluciones a problemas del área de la salud y la seguridad en entornos industriales (Almonacid Díaz, 2020). Además, es de remarcar que es factible generar soluciones prácticas, efectivas y de bajos requerimientos técnicos, utilizando técnicas clásicas de visión por computadora como lo son los patrones binarios locales (LBP).

CONCLUSIONES

- 1- Este proyecto demuestra que es posible diseñar e implementar un sistema de control automático en estaciones de trabajo utilizando técnicas de visión por computadora para detectar el uso de elementos de protección personal (cubrebocas y lentes de seguridad).
- 2- El sistema desarrollado representa una contribución significativa a la mejora de la seguridad laboral en entornos industriales. Al garantizar el uso de los EPP mediante una detección automatizada, se reducen los riesgos de accidentes relacionados con el no uso de estos.

- 3- La integración de herramientas como OpenCV, Python y el modelo basado en patrones binarios locales (LBP) demuestra que es posible desarrollar soluciones avanzadas, utilizando técnicas clásicas de visión por computadora y recursos físicos de bajo costo. Además, es de recalcar que con técnicas clásicas de visión por computadora y recursos de bajo costo (computadora sin GPU), se logró una confiabilidad de 85% en la detección del cubrebocas y de 93% en la detección de los lentes de seguridad.
- 4- Como plan futuro se plantea continuar trabajando con el algoritmo de detección para aumentar la confiabilidad en la detección de los EPP, especialmente en condiciones de iluminación adversas y con cambios en los ángulos de inclinación del rostro. Además, se pretende trabajar en la unificación de ambos sistemas de detección (cubrebocas y lentes de seguridad) en un solo detector, lo que haría más sencilla su implementación y mejoraría la eficiencia del procesamiento en tiempo real.
- 5- Por último, se propone la incorporación de técnicas más avanzadas de aprendizaje profundo, tales como redes neuronales convolucionales más complejas (Yolov12) para mejorar la detección de los EPP.

REFERENCIAS

- Almonacid Díaz, C. (2020). Theoretical and ethical considerations of facial recognition of emotions in the context of a pandemic. *Veritas*, 46: 55-75.
- Das, J. (2018). *Power System Protective Relaying*. CRC Press, Taylor; Francis Group.
- Gómez Suarez, Iván. (2020). *Mantenimiento electromecánico de motores eléctricos*. Ediciones Paraninfo, SA.
- GabySol. (2021). OmesTutorials2021/Mascarillas dataset. <https://github.com/GabySol/OmesTutorials2021/tree/main/Mascarillas%20dataset>.
- Instituto Mexicano del Seguro Social. (s.f.). Gobierno de México [s. f.]. <https://www.gob.mx/imss>.
- Moreano, J. A. C., Pulloquinga, R. H. M., Lagla, G. A. F., Chisag, J. C. C., & Pico, O. A. G. (2017). Reconocimiento facial con base en imágenes. *Revista Boletín Redipe*, 6(5): 143-151.

Oña, J. O., & Ruales, L. E. (2024). Análisis de sobrevoltajes por impulso atmosférico en sistemas de Transmisión con discontinuidades líneas de transmisión aéreas y cables aislados, usando ATP. *Revista Técnica energía*, 20(2): 1-10.

Peña, C. (2020). Introducción a Arduino (Vol. 88). RedUsers.

Softonic. (s.f.). Arduino IDE - Descargar [s. f.]. <https://arduino-ide.softonic.com/>.

HERBICIDAS NATURALES COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE A LOS HERBICIDAS QUÍMICOS SINTÉTICOS

NATURAL HERBICIDES AS A VIABLE ALTERNATIVE TO SYNTHETIC CHEMICAL HERBICIDES

RESUMEN

Los herbicidas químicos sintéticos son productos utilizados ampliamente para controlar las plantas indeseables que representan una amenaza para cultivos, jardines, prados, mantos acuíferos e infraestructura. Este tipo de agroquímico ayuda a eficientizar la producción agrícola al eliminar las plantas no deseadas o en algunos casos reducir o detener su crecimiento. Además, estos herbicidas químicos sintéticos son aceptados por los agricultores debido a su alta eficiencia y costo, sin embargo, presentan como desventaja las consecuencias negativas al ser compuestos altamente estables, ya que su degradación una vez que llevan a cabo su función, no es total, produciendo residuos que pudieran tener consecuencias negativas en plantas, microorganismos del suelo, y mantos acuíferos. Por lo que, actualmente su origen, toxicidad, aplicación y control son temas de gran controversia, dado que algunos de estos productos se han asociado a riesgos para la salud humana o para el ecosistema. Por otra parte, se han desarrollado alternativas a estos herbicidas químicos sintéticos, conocidos como herbicidas naturales, siendo más amigables con el ambiente y con menos riesgos para la salud humana, por lo que se asocian a prácticas agrícolas más sostenibles. En el presente documento se expone un panorama general de las ventajas y desventajas de los herbicidas naturales en comparación a los herbicidas químicos sintéticos.

Palabras clave: herbicidas naturales; herbicidas químicos sintéticos; alternativas; agroquímicos.

MARTHA M. OROZCO SIFUENTES¹

ROCÍO CASTILLO GODINA¹

SANDRA CECILIA ESPARZA
GONZÁLEZ²

RAÚL RODRÍGUEZ HERRERA¹

CLAUDIA M. LÓPEZ BADILLO¹

M. SÁNCHEZ VEGA³

AIDÉ SÁENZ GALINDO¹

1. Facultad de Ciencias Químicas, Unidad Sureste, UAdeC.
2. Facultad de Odontología, Unidad Sureste, UAdeC.
3. Departamento de Parasitología, Agrícola, UAAAN.

Correspondencia

aidesaenz@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7554-7439>

Fecha de recepción
20 de enero de 2025.

Fecha de aceptación
22 de octubre de 2025.

ABSTRACT

Synthetic chemical herbicides are products widely used to control undesirable plants that pose a risk to: crops, gardens, meadows, aquifers and infrastructure. This type of agrochemical helps make agricultural production more efficient, by eliminating unwanted plants or in some cases reducing or stopping their growth. In addition, these synthetic chemical herbicides are accepted by farmers due to their high efficiency and cost, however, they have the negative consequences of being highly stable compounds, since their degradation once they carry out their function is not complete. producing residues that could have negative consequences on plants, soil microorganisms, and aquifers. Therefore, its origin, toxicity, application and control are currently topics of great controversy, given that some of these products have been associated with risks to human health or the ecosystem. On the other hand, alternatives have been developed to these synthetic chemical herbicides, which are known as natural herbicides, being more environmentally friendly and with fewer risks to human health, which is why they are associated with more sustainable agricultural practices. This document presents a general overview of the advantages and disadvantages of natural herbicides compared to synthetic chemical herbicides.

Keywords: *natural herbicides; synthetic chemical herbicides; alternatives; agrochemicals.*

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la agricultura enfrenta numerosos desafíos, entre ellos el control de plantas indeseables, algunas veces conocidas como maleza o arvenses, plagas, contaminación entre otras situaciones. La problemática referente al control de plantas indeseables conlleva al uso desmesurado de herbicidas químicos sintéticos con el objetivo de mantener los cultivos, suelos saludables y productivos, y reducir la fuerza de trabajo. Estos herbicidas, son considerado altamente efectivos contra las plantas indeseables, sin embargo, algunos de ellos, se han asociado a un impacto negativo ya que pueden contaminar el suelo y el agua, afectando la biodiversidad y causando daño a los ecosistemas. Además, se ha reportado que algunas malezas ya han desarrollado o adquirido tolerancia a estos herbicidas, por lo que se tienen

que aplicar dosis más altas para su control o emplear herbicidas químicos sintéticos más eficientes, aunque más tóxicos.

Hoy en día, el tema de la sostenibilidad en la producción agrícola, a mediano y a largo plazo, es de gran importancia para el desarrollo y la economía, sin embargo, esto trae consigo diferentes situaciones a tomar en cuenta, donde se destaca la presencia de plantas indeseables, como maleza, hierbas silvestres entre las más comunes, y esto trae consigo el uso desmesurado de los herbicidas químicos sintéticos. Por lo cual, es necesario brindar soluciones alternativas, rápidas y eficaces para el control de plantas indeseables. En los últimos años se han desarrollado herbicidas más amigables con el ambiente que han ganado atención como una alternativa viable, ecológica y sostenible, debido al menor riesgo al medio ambiente, la salud y la sostenibilidad a largo plazo, por ejemplo, se reportó recientemente por Wichittrakarn y col. (2025), el uso de herbicidas naturales a partir de *Melia azedarach* L., encontrando la gran eficiencia, al igual Mekky y col. (2019), reportaron una alternativa para el control de maleza al emplear extractos de *Ocimum basilicum* L., estos autores encontraron resultados satisfactorios. Por otra parte, también se ha mencionado el desarrollo de herbicidas semi sintéticos, empleando extractos de *Olea europaea* L., y derivados de triazoles, los cuales presentaron resultados prometedores, según lo reportado por Nejma y col. (2018).

Hasta el momento los estudios que se tienen, son bastos y muy prometedores, sin embargo, la eficiencia de los herbicidas químicos sintéticos sigue postulándose como número uno, en cuestión de eficiencia, rapidez y control de malezas, sin embargo, los estragos y efectos de la toxicidad de estos herbicidas, sigue siendo un problema difícil de resolver. Por tal motivo, los herbicidas de origen natural, representan una alternativa, viable, sustentable y alcanzable en algunos casos hasta económica. Tomando en cuenta los antecedentes antes presentados, la finalidad del presente documento es dar a conocer un panorama general sobre las ventajas y desventajas de los herbicidas químicos sintéticos en comparación con los herbicidas de origen natural.

HERBICIDAS QUÍMICOS SINTÉTICOS

Desde tiempos antiguos, los seres humanos se han preocupado por domesticar una gran variedad de plantas que lo provean de alimento, ropa y hogar, surgiendo de este modo las plantas cultivadas, las cuales se han

mejorado genéticamente y, hasta el día de hoy, forman la base de la alimentación mundial. Sin embargo, con el surgimiento de estos cultivos también surgieron aquellas plantas conocidas como “malezas” o “arvenses”, que son consideradas como plantas no deseadas (Allan y col., 2016), ya que compiten con los cultivos por el espacio, el agua, la luz, los nutrientes y el CO₂, impidiendo el correcto desarrollo del cultivo. Además, son huéspedes de plagas (insectos, patógenos o roedores), dificultan la cosecha y por consecuencia aumentan considerablemente los costos de operación (Fernández-Quintanilla y Dorado 2007). La proliferación de plantas indeseables puede disminuir considerablemente los rendimientos de los cultivos en porcentajes que van desde 10 % a 90 % de la producción total esperada. Este daño no solo incide en el cultivo donde se desarrollan, sino que produce semillas que pueden permanecer viables por más de diez años, teniéndose el problema en esa área agrícola, por un largo tiempo. Algunas de estas plantas indeseables producen toxinas que pueden causar intoxicación en animales (ganado, aves, etc.) y humanos (Guzmán y Martínez-Ovalle, 2019).

Alrededor de los años cincuenta del siglo pasado, surgieron los primeros herbicidas, producidos a base de compuestos químicos sintéticos capaces de inhibir procesos metabólicos en las plantas, entre ellas la división celular, la fotosíntesis, la producción de aminoácidos, entre otros, ayudando al control de malezas (Allan y col., 2016).

Hoy en día, este tipo de herbicidas son ampliamente utilizados, no solo para controlar las malezas e indeseables en cultivos de importancia económica y alimenticia, sino también para mantener limpios los bordes de carreteras, vías de ferrocarril, jardines y camellones, lagos y ríos. Sin embargo, su uso excesivo, así como dosificaciones mal empleadas, han generado daño ecológico y se estima que son responsables de 200 mil muertes por intoxicaciones agudas al año y que 99 % de ellas ocurren en países en vías de desarrollo, donde las normas de seguridad son menos estrictas (Ramírez-Muñoz, 2021). Además, este uso desmedido ha propiciado que algunas malezas desarrollen o adquieran tolerancia hacia el ingrediente activo del herbicida químico sintético.

EJEMPLOS DE HERBICIDAS SINTÉTICOS

Existen diferentes tipos de herbicidas químicos sintéticos, de acuerdo con Caseley y col. (1996) en 1993 ya existían 300 ingredientes activos y alrededor de 200 ya se comercializaban a nivel mundial (Silveira y col., 2018). Pueden clasificarse en diferentes categorías de acuerdo con características como la selectividad, en selectivos y no selectivos. Los herbicidas selectivos dirigen su acción a un grupo determinado y excluyen a otros. Su selectividad dependerá de diversos factores como las propiedades del herbicida, la dosis utilizada, la técnica de aplicación, el momento en el que se lleva a cabo la aplicación, así como características morfológicas de las plantas. Por ejemplo, el herbicida atrazina es selectivo en maíz y sorgo (Torres y col., 2019). Los no selectivos tienen la capacidad de matar todo tipo de planta, ya sea de hoja ancha u hoja angosta (Ramírez-Muñoz, 2021). Los herbicidas también pueden clasificarse de acuerdo a la época de aplicación: en presembrado, antes de la siembra; preemergentes, aplicados después de la siembra y antes de que surja la maleza; y postemergentes, después de que emerge la maleza, principalmente en sus primeros estadios (Gómez y Lutz, 2022).

De acuerdo a Robles y de la Cruz (2006), el paraquat y el 2,4-D son los herbicidas más comúnmente aplicados en presembrado. De la misma forma, los herbicidas pueden clasificarse por su modo de acción y familia química que los conforma. En la Tabla 1, se presentan algunos ejemplos de herbicidas utilizados en la producción agrícola, es importante hacer mención que la mayoría de las familias químicas incluyen compuestos aromáticos, sin embargo, para su aplicación se tiene que considerar: la dosis, la aplicación, la época de aplicación, el tipo de cultivo, periodo de tiempo sin sembrar, clima, temperatura, humedad, química del suelo, entre otros factores.

Es importante destacar que en ocasiones se cuenta con reportes recientes de la residualidad de este tipo de productos, sumando que la mayoría de los herbicidas sintéticos, no se formulan con un solo principio activo, por lo general son mezclas de diferentes compuestos químicos potentes.

Tabla 1. Ejemplos de algunos herbicidas comerciales utilizados en la agricultura de acuerdo con su modo de acción.

Familia química	Nombre común	Nombre comercial	Cultivos	Modo de acción
Fenoxicarboxílicos	2,4-D	Hierbamina y otros	Alfalfa, trigo y vid	Destructores de membranas celulares
Bipiridilos	Paraquat	Gramoxone y otros	Pre-siembra Maíz, sorgo, cereales y caña de azúcar	Destructores de membranas celulares
	Diquat	Reglone, Reward		
Cloroacetamidas	Metolaclor	Dual	Maíz, soya y algodón	Inhibidor del crecimiento de plántulas
Triazinas	Atrazina	Gesaprim y otros	Maíz y sorgo	Inhibidor de la fotosíntesis
Fenilureas	Diuron	Karmex	Maíz y algodón	
Triazoles	Amitrole	Amitrol	Áreas industriales	Inhibidor de la síntesis de pigmentos
Arioxifenoxi-propionatos	Fluazifop-butil	Fusilade	Soya y algodón	Inhibidor de la síntesis de lípidos
	Fenoxaprop-etil	Furore, Puma	Arroz y trigo	
Imidazolinonas	Imazethapyr	Pivot, Pursuit	Soya, cacahuete	Inhibidor de la síntesis de aminoácidos
Organofosfonatos	Glifosato	Roundup y Sting	Pastos, alfalfa, calabaza, naranja, sandía, trigo y vid	
Piridinas cloradas y fluoradas	Fluroxipir 20%	Tidex Jed	Trigo, cebada, maíz, sorgo, entre otros	Adsorción por hoja, mayor eficiencia en pos-emergencia
Glucósidos	Alquilpolisacaridos Suspensión Acuosa: 25%P/P	Mojagrar Natur	Hortalizas frutales	Adsorción por hoja

Elaborada con información de Robles y de la Cruz (2006) y Silveira-Gramont y col. (2018).
https://sembralia.com/products/mojagrar-natur?_pos=5&_sid=50e11f8e6&_ss=r

Hasta el momento el principal ingrediente activo en muchos herbicidas químicos sintéticos es el glifosato (N-fosfonometil-glicina, $C_3H_8NO_5P$), de acción postemergente, no selectivo y de amplio espectro, altamente eficiente en la erradicación de maleza perene con reproducción vegetativa (Choque y Nogales, 2019; Luna-Hernández, 2018). Pertenece al grupo de plaguicidas organofosforados, es decir, se deriva del ácido fosfórico. Está compuesto por una molécula de glicina y otra de fosfonometilo, con un átomo central de fósforo (Figura 1). Su mecanismo de acción consiste en interferir en la síntesis de los aminoácidos fenilalanina, tirosina y triptófano, inhibiendo la enzima 5-



enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), sintetizada solo por plantas y algunos microorganismos. El crecimiento de las plantas se detiene a las pocas horas de su aplicación de estos herbicidas y las hojas se vuelven amarillas en unos cuantos días (Choque y Nogales, 2019).

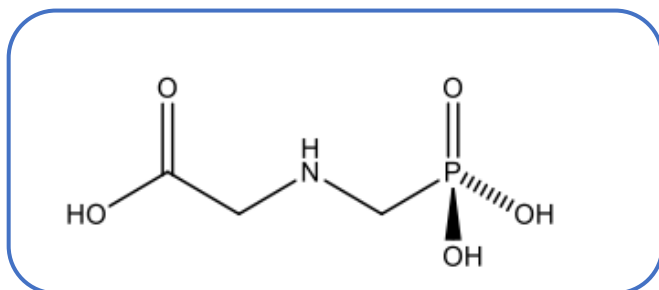


Figura 1. Estructura molecular del glifosato (Luna-Hernández, 2018)

Actualmente, el glifosato es el herbicida más utilizado en agricultura, silvicultura, jardinería e incluso en actividades domésticas. Este herbicida se comercializó por primera vez en la década de los setenta por la compañía Monsanto, con el nombre de “Roundup”. Se utiliza para exterminar maleza en una gran variedad de cultivos, sin embargo, se ha detectado que penetra en el suelo, se filtra en el agua y sus residuos permanecen en los cultivos, provocando efectos negativos en la salud y el medio ambiente. Llegando incluso la Organización Mundial de la Salud a clasificarlo como “probable cancerígeno para los humanos”, inclusive algunos estudios realizados en Italia por el Instituto Ramazzini mencionan que debilita el sistema inmune por tres vías, favoreciendo la infección por virus como SARS-CoV-2, el que ocasionó la pandemia del COVID-19. Por lo anterior, países como Austria, Alemania, Francia, Italia, Luxemburgo, Tailandia, Bermudas, Sri Lanka y algunas regiones de España, Argentina y Nueva Zelanda han prohibido o restringido su uso (SEMARNAT, 2020). El uso de este químico a nivel mundial es de gran controversia por sus efectos secundarios que afectan de forma directa o indirecta al ser humano, por tal motivo su estudio, dosificación, uso, aplicación, degradación, descomposición (fragmentación), formación de residuos y estragos al medioambiente incluyendo al ser humano es un área de gran interés y relevancia para la agricultura a nivel mundial.

Ventajas

- Los herbicidas sintéticos son más rápidos y efectivos para el control de malezas.

- El costo de inversión en su compra genera un mayor rendimiento económico.
- Pueden ser selectivos o no selectivos.
- Son de fácil acceso.

Desventajas

- Su uso excesivo e inadecuado genera riesgos para la salud y el medio ambiente.
- Pueden ser altamente tóxicos para mamíferos.
- Pueden acumularse en el suelo y contaminar el agua.
- Se han reportado efectos adversos para la salud (carcinógenos, mutagénicos, teratogénicos).
- Su uso repetido genera biotipos de malezas tolerantes o resistentes al ingrediente activo del herbicida.

Alternativas

- Su uso en dosis adecuadas dentro de un sistema integral de manejo de malezas podría reducir el riesgo para el medio ambiente.
- El uso alternado con manejo preventivo manual, así como prácticas de rotación de cultivos pueden contribuir a disminuir los daños.
- Incluir herbicida de origen natural o herbicidas seminaturales.

HERBICIDAS NATURALES

El uso de los herbicidas naturales para el control de plantas indeseables se ha incrementado en los últimos años, esto como una alternativa a los herbicidas químicos sintéticos, ya que se prefieren porque se consideran más seguros para el medio ambiente y con una menor toxicidad que los herbicidas sintéticos convencionales. Los herbicidas de origen natural, al ser de acelerada degradación, no comprometen el ecosistema ni la seguridad medioambiental. El principal uso de los herbicidas naturales es el control de arvenses con efectos preemergentes que implica un control preventivo y/o postemergentes cuando la maleza no ha crecido más de diez centímetros.

La acción de los herbicidas naturales se debe a los metabolitos secundarios derivados de hongos, bacterias, algas y principalmente de fuentes vegetales. Algunos ejemplos de herbicidas naturales empleados en la agricultura orgánica son el ácido acético, este ácido es el resultado de la fermentación



acética del líquido de frutas, y ejerce efecto al entrar en contacto con el follaje de las plantas, al causar daños en las membranas celulares, lo cual provoca una rápida descomposición del tejido y llega a producir la muerte en las plantas asperjadas (Brainard y col., 2013). De este modo, durante la fermentación, el azúcar de la pulpa se convierte en alcohol y ácido acético. El d-limoneno, otro ejemplo, se extrae de la cáscara de la naranja, es un solvente de alto poder que se clasifica dentro del grupo de hidrocarburos no saturados, posee potencial herbicida y es de bajo perfil toxicológico. Una alternativa más es el uso de extractos de especies vegetales que poseen un efecto supresor en el desarrollo y crecimiento de malezas, su efecto se debe a los metabolitos secundarios derivados de las especies alelopáticas. Alelopatía es el término utilizado para denominar el efecto inhibitorio de una especie vegetal sobre otra, de esta manera, los metabolitos secundarios que son liberados al medio ambiente por las especies alelopáticas se conocen como aleloquímicos (Ávila y col., 2023). Otra fuente con propiedades alelopáticas es el extracto de pino (*Pinus* spp.), posee hidrocarburos monoterpénicos en sus hojas, estos compuestos controlan el patrón de vegetación en algunos bosques (Lutz y col., 2023).

Algunos otros herbicidas naturales se producen utilizando enzimas o complejos de sustancias microbianas que degradan la pared celular vegetal. Los metabolitos secundarios de las plantas suelen agruparse en cuatro clases principales: Terpenos: hormonas, pigmentos o aceites esenciales, compuestos fenólicos: cumarinas, flavonoides, lignina y taninos, glicósidos: saponinas, glicósidos cardíacos, glicósidos cianogénicos, glucosinolatos y alcaloides (Hussein y El-Anssary, 2019; Ávalos-García y Pérez-Urria, 2009). De las cuatro categorías existentes, la de mayor interés suelen ser los compuestos fenólicos o polifenoles, los cuales son compuestos que presentan una estructura química característica por la presencia de uno o más anillos de fenol, un anillo aromático con un grupo hidroxilo como se puede apreciar en la Figura 2.



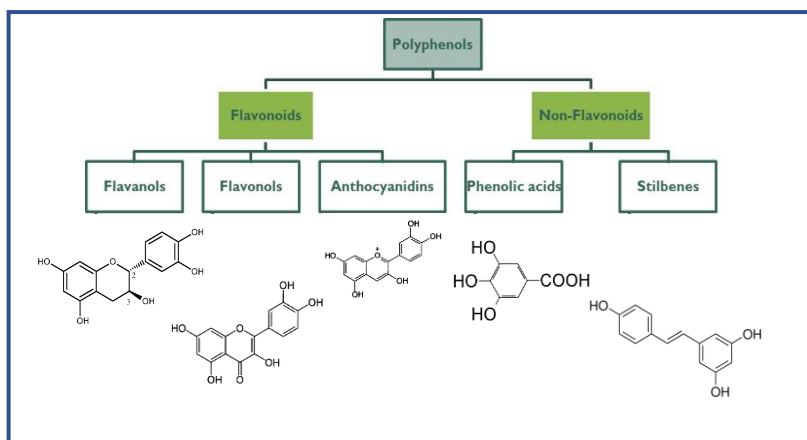


Figura 2. Estructura química de algunos compuestos polifenólicos de mayor relevancia.

Dentro de las ventajas que los herbicidas naturales presentan se encuentran: la biodegradabilidad, la cual implica un manejo de arvenses sostenible para el medio ambiente (Jabran y col., 2015), de igual manera, ofrecen medios de acción específicos, lo cual los hace eficaces (Dayan y col., 2014). De acuerdo a su mecanismo de acción primario, pueden clasificarse en: inhibidores de la fotosíntesis; inhibidores del fotosistema II; secuestradores de electrones en el fotosistema I; inhibidores de la síntesis de lípidos; inhibidores de la síntesis de aminoácidos, entre otros (Pitty, 2018).

La efectividad de los herbicidas naturales depende de las sustancias alelopáticas que poseen los extractos de plantas. Las posibles desventajas que estos herbicidas de origen natural pueden ofrecer es que, justamente estas moléculas bioherbicidas son de estructuras moleculares complejas, lo cual requiere de modos de acción específicos y a su vez, su preparación comercial y almacenamiento es complejo en comparación con los herbicidas químicos sintéticos. Por otra parte, los compuestos activos pueden resultar tóxicos o volátiles, lo cual impiden su manejo, no se obtienen en suficiente cantidad, pueden requerirse en dosis altas e implicar un costo significativo para el desarrollo del herbicida (Portuguez-García y col., 2021).

Hasta el momento se han reportado diferentes estudios donde se comprueba la actividad de diferentes herbicidas naturales, algunos autores los llaman bioherbicida o herbicidas botánicos. Se ha reportado el estudio de los extractos de hojas y flores de *Ocimum basilicum* L., como herbicida biodegradable contra maleza de hojas ancha, la extracción fue llevada a cabo

usando tres diferentes disolventes: metanol, acetona y agua, encontrando que la acetona es el mejor disolvente extractor (Mekky y col., 2019). En ese mismo año se reportó el estudio de la actividad fitotóxica como bioherbicida del aceite de *Dracocephalum moldavica* L. o su nombre común cabeza de dragón, encontrando que se presentan resultados muy prometedores en la inducción de estrés oxidativo (Pouresmaeil y col., 2022). Recientemente, en el 2025 se publicó el estudio de bioherbicida, del aceite esencial de *Acorus Calamus* L., encontrando resultados prometedores, abriendo un área de gran interés para seguir investigando (Wróblewski y col., 2025).

Sin embargo, aún hay mucho por hacer, de acuerdo a Bejarano-González et al (2025), en México existen 210 principios activos de Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAP), autorizados para su uso, por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), de estos 171 son de uso prohibido en otros países y 67 de ellos son considerados como tóxicos agudos.

Es importante recalcar que, de acuerdo a algunos antecedentes, los ingredientes activos se utilizan para la producción de más de tres mil productos comerciales, como insecticidas, herbicidas, fungicidas y fumigantes, los cuales pueden aplicarse en el área agrícola, agropecuaria, forestal e industrial. Sin lugar a dudas lo PAP representan un riesgo para la salud humana, animal e incluso para la composición del suelo, una alternativa que puede ayudar a mitigar el uso de principios activos “sintéticos”, es sustituyéndolos por aquellos “no sintéticos” de origen natural. En el área de los herbicidas, sustancias orgánicas como los vinagres de caña, manzana y aceites como el de trébol pueden ser efectivas en el control de malezas, además de ser biodegradables, evitando su acumulación y por lo tanto reduciendo sus efectos a la salud o el medio ambiente (Dayan y col., 2014). A lo largo de la historia se han utilizado diversos herbicidas orgánicos elaborados a base de diferentes tipos de componentes. El DMOC (dinitro-ortocresol) fue el primero en ser introducido a la producción agrícola en 1932, después de eso vinieron los herbicidas reguladores de crecimiento 2, 4-D y MCPA en 1945, el éxito de su aplicación dio paso a más investigaciones e inversiones en este ámbito, lo cual ha traído como consecuencia una gran variedad de grupos y compuestos en el desarrollo de herbicidas sintéticos. Otra alternativa prometedora es el uso de productos naturales fitotóxicos, que pueden ser estructuralmente más complejos que los utilizados en herbicidas químicos sintéticos, sin embargo, estos no están limitados por el costo de la síntesis de la molécula final (Lutz y col., 2023).



CONCLUSIONES

Tomando en cuenta la información analizada, se concluye que, los herbicidas son una estrategia de gran apoyo para el sector agrícola, sin embargo, su control y uso moderado es de gran importancia para la sustentabilidad del medioambiente. Aunque los herbicidas químicos sintéticos puedan aumentar la eficiencia en la producción agrícola, así como la reducción de la presencia de plantas no deseadas, hierbas silvestres, malezas etc., se debe de tener especial cuidado en su uso. Es crucial que en la agricultura se adopten prácticas más sostenibles y responsables con el uso de herbicidas, como la rotación de cultivos y el uso de alternativas biológicas para minimizar efectos nocivos y proteger tanto el medioambiente como la salud humana, flora y fauna.

Hasta el momento hay alternativas como el uso de los herbicidas naturales o bioherbicida, que ofrecen beneficios significativos en términos de sostenibilidad, salud humana, cuidado y conservación del medioambiente, entre otros beneficios, sin embargo, presentan como desventaja reducida eficiencia, altos costos, y aún están en estudio.

La transición hacia herbicidas de origen natural debe de ser considerada como una opción viable con el fin de garantizar la seguridad y el bienestar de las generaciones futuras, por tal razón es un área de gran interés para continuar con las investigaciones sobre bioherbicida o herbicidas naturales. Estos cambios pueden implicar de manera inicial la reducción de beneficios económicos inmediatos para los productores, pero pueden garantizar a largo plazo, una mayor bioseguridad hacia los consumidores de productos y hacia el medio en que se desarrollan.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece del apoyo a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila por las facilidades otorgadas, así como el financiamiento a través del proyecto CONACYT-23-322605 denominado “Valorización de extractos potencializados de recursos naturales como una alternativa de control y manejo de arvenses”, y del proyecto CONACYT-21-

316157 denominado “Valorización de residuos agroindustriales y recursos naturales como una alternativa de control y manejo de arvenses”.

REFERENCIAS

- Ávalos-García, A., & Pérez-Urria, C. E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. Serie Fisiología Vegetal. *Reduca (Biología)*. 2(3): 119-145. ISSN: 1989-3620.
- Ávila, N. L. R., Candelaria-Martínez, B., & Rodríguez-Ávila, N. L. (2023). Efecto alelopático de *Metopium brownei* y *Viguiera dentata* sobre *Senna uniflora*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2):185-195. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3015>.
- Brainard, D., Curran, W., Bellinder, R., Ngouajio, M., VanGessel, M., Haar, M., & Masiunas, J. (2013). Temperature and relative humidity affect weed response to vinegar and clove oil. *Weed Technology*, 27(1): 156-164. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00073.1>.
- Bejarano-González, F., Rojas-García, A. E., & Bernal-Hernández, Y. Y. (2025). Lista de plaguicidas altamente peligrosos autorizados en México y prohibidos en otros países. Primera Edición. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México (RAPAM), CONTOX-Universidad Autónoma de Nayarit, Red Temática de Toxicología de Plaguicidas, Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL). <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25050.25287>
- Caseley, J. C. (1996). Herbicidas. En R. Labrada, J. C. Caseley, & C. Parker (Eds.), *Manejo de Malezas para Países en Desarrollo: Estudio FAO Producción y Protección Vegetal*. 120. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/docrep/T1147S/t1147s0e.htm>. Fecha de recuperación junio 2025.
- Choque, R., & Nogales, J. (2019). Estudio de propiedades moleculares del glifosato usando métodos químico-cuánticos computacionales. *Revista con-ciencia*, 7 (1): 41-56. http://www.scielo.org.bo/pdf/rcfb/v7n1/v7n1_a05.pdf. Fecha de recuperación junio 2025.
- Dayan, F. E., & Duke, S. O. (2014). Natural compounds as next-generation herbicides. *Plant Physiology*, 166 (3): 1090–1105. <https://doi.org/10.1104/pp.114.239061>.
- Fernández-Quintanilla, C., & Dorado, J. (2007). Daños y beneficios causados por las malas hierbas. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, 193: 12-16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=1037>.

- Gómez, R. G., Lutz, M. I. G. (2022). Tolerancia de varias leguminosas de cobertura a herbicidas pre y posemergentes. *Agronomía Costarricense*. 46 (2): 101-116. <https://doi.org/10.15517/rac.v46i2.52051>
- Guzmán M., Martínez-Ovalle (2019). Las malezas, plantas incomprendidas. *Ciencia, Tecnología y Salud*. 6, 68-76. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v6i1.485>
- Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., Chauhan, B. S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72: 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>.
- Luna-Hernández, I. (2018). Detección de residuos de glifosato en maíz mediante espectroscopía Raman de superficie aumentada. Tesis de Maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Lutz, M. I. G., Alvarado, R. A., & García, M. P. P. (2023). Uso de herbicidas naturales como potenciales desecantes en frijol. *Pensamiento Actual*, 23(41): 29-38. DOI 10.15517/PA.V23i41.57630.
- Mekky, M.S., Hassanien, A.M.A., Kamel, E.M., Ismail. A.E.A. (2019). Allelopathic effect of *Ocimum basilicum* L. extracts on weeds and some crops and its possible use as new crude bio-herbicide. *Annals of Agricultural Sciences*, 64 (2): 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.12.005>.
- Pitty, A. (2018). Modo de Acción y Resistencia de los Herbicidas que Interfieren en el Fotosistema II de la Fotosíntesis. *Ceiba*, 55(1): 45-59. DOI: 10.5377/ceiba.v55i1.5453.
- Portuguez-García, M. P., Agüero-Alvarado, R., González-Lutz, M. I. (2021). Actividad herbicida de tres productos naturales sobre cuatro especies de arvenses. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3): 991-999. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v32i3.41394>.
- Pouresmaeil, M., Sabzi-Nojadeh, M., Movafeghi, A., Nezhadasad, B.N., Aghbash, Kosari-Nasab, M., Zengin, G. Maggi, F. Phytotoxic activity of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) essential oil and its possible use as bio-herbicide. *Process Biochemistry*, 114: 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.01.018>.
- Ramírez-Muñoz, F. (2021). El herbicida glifosato y sus alternativas. Serie de Informes Técnicos Primera Edición. Universidad Nacional, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (UNA-RET). Heredia, Costa Rica. 54 p.
- Nejma, A.B., Mansour Znati, M., Daich, A., Othman, M., Lawson, A.M., Jannet, H.B. (2018). Design and semisynthesis of new herbicide as 1,2,3-triazole derivatives of the natural maslinic acid. *Steroids*, 138: 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2018.07.004>.
- Robles, E. R., & de la Cruz, R. S. (2006). *Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción*. Folleto Técnico No. 35. SAGARPA. https://www.gob.mx/semarnat/articulos/por-que-decir-no-al-glifosato?idiom=es_

- Silveira-Gramont, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Piri-Santana, J., Valenzuela-Quintanar, A. I., Jasa-Silveira, G., & Rodríguez-Olibarria, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de Sonora, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(1): 7-21. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.01>.
- Torres, V., & Hanse, W. (2019). Efecto de herbicidas selectivos en el cultivo de *Zea mays* L. var. marginal en Satipo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5300>
- Urgíles, J. (2018). Evaluación del efecto de herbicidas químicos y orgánicos para control de malezas en el cultivo de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L.) en la zona de Naranjal, provincia del Guayas [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santiago de Guayaquil].
- Wichitrakarn, P., Nutch Manichart, N., Laosinwattana, Ch., Charoenying, P., Sikhao, P., Passara, H. (2025). Development of a *Melia azedarach* L. based natural herbicide: formulation and efficacy studies. *Journal of Agriculture and Food Research*. 22 (102025): 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102025>.
- Wróblewski M., Piotrowska-Niczyporuk, Ciereszko, I., Gocek, N., Zabka, A., Szczepblewski, P., Sobiech, L., Saja-Garbarz, D., Justyna T. P. (2025). Phytotoxicity and bioherbicidal potential of sweet flag (*Acorus calamus* L.) essential oil on Fabaceae and Brassicaceae species, *Scientia Horticulturae*, 347 (114180): 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2025.114180>.

ESPACIO PÚBLICO Y SU VEGETACIÓN EN LA CIUDAD DE MATAMOROS, COAHUILA

PUBLIC SPACE AND ITS VEGETATION IN THE CITY OF MATAMOROS, COAHUILA

JAQUELINE GARCÍA CASTILLO

JORGE VILLANUEVA SOLÍS

ANDRÉS QUIROA HERNÁNDEZ

ALLECK GONZÁLEZ CALDERÓN

HÉCTOR LLAVEN JOSÉ

RESUMEN

El espacio público en las ciudades, sus áreas verdes y su calidad ambiental, son en la actualidad temas obligados si se pretende hablar de sostenibilidad y resiliencia climática. Sin embargo, la realidad de estos espacios y la manera en que se gestionan, distan de alcanzar las condiciones conceptuales establecidas en diversos instrumentos de política pública. En este trabajo, se analizan las áreas verdes urbanas de la ciudad de Matamoros, Coahuila, con el objetivo de revelar sus condiciones físicas y servicios que ofrecen a quienes habitan en esta ciudad del norte semiárido de México. Para su análisis se instrumentó un método mixto, en una primera etapa se integró y sistematizó la información sobre las áreas verdes públicas recopilada en dependencias del ayuntamiento, posteriormente a través de recorridos de campo se localizan en una base cartográfica y registran sus condiciones actuales. En una segunda etapa se clasificaron y diagnosticaron conforme los criterios normativos vigentes en materia de espacio público. Los resultados constituyen un primer acercamiento sistematizado en el tema para esta ciudad, y son una aportación para la toma de decisiones en política pública.

Palabras clave: espacio público; áreas verdes urbanas; medio ambiente urbano.

1. Escuela de Arquitectura,
Unidad Laguna, UAdeC.

ABSTRACT

Public spaces in cities, their green areas, and environmental quality are currently essential topics for discussing sustainability and climate resilience. However, the reality of these spaces and the way they are managed falls far

Correspondencia

jorge.villanueva@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-9778-9225>

Fecha de recepción

13 de febrero de 2025.

Fecha de aceptación

22 de octubre de 2025.

short of meeting the conceptual conditions established in various public policy instruments. In this work, the urban green areas of the city of Matamoros, Coahuila, are analyzed to reveal their physical conditions and the services they provide to residents of this city in the semiarid north of Mexico. A mixed method was implemented for its analysis. In the first stage, information on public green areas collected from city hall offices was integrated and systematized. Subsequently, through field surveys, they were located in a cartographic database and their current conditions recorded. In a second stage, they were classified and diagnosed according to current regulatory criteria for public space. The results constitute the first systematic approach to the topic for this city and are a contribution to public policy decision-making.

Keywords: public spaces; urban green spaces; urban environment.

INTRODUCCIÓN

El espacio público en las ciudades, sus áreas verdes y su calidad ambiental son desde hace tiempo una temática de discusión en distintos ámbitos. Al respecto, en los instrumentos de política internacional se resalta que las ciudades deben cumplir su función social y ecológica, además de ofrecer igualdad de acceso y servicios de calidad en todos los bienes públicos. Por ejemplo, en la Nueva Agenda Urbana se promueve la creación y el mantenimiento de redes de espacios públicos bien conectados y de calidad, esto es, abiertos, seguros, inclusivos, accesibles, verdes y destinados a fines múltiples (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-Hábitat], 2017). Además, se considera que a través de estos espacios se incrementa la resiliencia de las ciudades frente al cambio climático y los desastres, como las inundaciones, los riesgos de sequía y las olas de calor.

En este sentido, Castro Tanzi (2005) señala los siguientes beneficios que brindan las áreas verdes: disminución de la temperatura y la sensación térmica en las ciudades, mejoramiento del paisaje, protección de zonas de infiltración de aguas y recarga de mantos acuíferos, función de barrera contra ruido, espacios para recreación y mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos en general. Con relación a la temperatura, Villanueva-Solis y col. (2020) señalan que: cuanto mayor sea la superficie impermeable y menor sea

la superficie de vegetación, se reducen los efectos positivos al microclima y, por lo tanto, se afectan las condiciones de confort, así como la capacidad de mitigación del efecto isla de calor.

Aún si, son comprensibles los beneficios y por lo tanto la necesidad de estos espacios en las ciudades. Vale la pena resaltar que existen múltiples definiciones y clasificaciones de áreas verdes urbanas, la mayoría están limitadas a los espacios públicos como: los parques, las plazas y jardines. Sin embargo, en términos ambientales es necesario que el concepto de área verde reciba otras dimensiones, orientadas a considerar sus servicios ambientales y sus contribuciones a la resiliencia climática a escala de ciudad, y con ello, otras posibilidades para su planificación y gestión en el desarrollo urbano.

Algunas definiciones mayormente enfocadas hacia este trabajo son las siguientes. Mena y col. (2011) aclaran que las áreas verdes urbanas son espacios con predominio de vegetación arbórea, englobando plazas, jardines públicos y parques urbanos. Para Peña Salmón (2011) las áreas verdes urbanas están integradas por diferentes tipos de espacios, desde un pequeño jardín residencial hasta un parque metropolitano, por ello sus funciones y beneficios son diferentes en el nivel local y regional dependiendo de su tipología, características y escalas. Y desde un punto de vista ecológico, Sorensen y col. (1998) mencionan que las áreas verdes urbanas mejoran el aire, el agua y los recursos del suelo al absorber contaminantes del aire, incrementar las áreas de captación y almacenamiento de agua y estabilizar los suelos.

Por su parte, la Norma Oficial Mexicana de Espacio Público, define a este tipo de espacios como un elemento estratégico para el desarrollo sostenible de una ciudad. Su adecuada gestión permite la generación de externalidades positivas que inciden en el bienestar de las personas: cohesionando zonas, proporcionando acceso a servicios, reduciendo el impacto ambiental, apoyando vínculos económicos, generando un sentido de comunidad, identidad cívica y cultura que tiene impacto en la seguridad urbana y contribuyendo al acceso universal a las oportunidades de la urbanización para las y los habitantes. En este sentido, los espacios públicos son un elemento clave para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la Nueva Agenda Urbana y los compromisos asumidos por el país para lograr el desarrollo sostenible global y el bienestar de la población (SEDATU, 2021).

Establecido su significado y sus beneficios, continuemos con su dosificación. Varios autores (Zhang y col., 2021; Ceren Say y Cevik, 2019); Pafi y col., 2016; Flores-Xolocotzi, 2017) indican un factor de área verde para las ciudades de nueve metros cuadrados per cápita y en una distancia caminable de quince minutos. Por su parte, la guía metodológica para la elaboración y actualización de programas municipales de desarrollo urbano considera, como un indicador básico el área verde per cápita con un estándar mínimo deseado de diez metros cuadrados por habitante, y un nivel de accesibilidad a ellas de quinientos metros (Marambio Castillo y col., 2017).

CONTEXTO DE LA CIUDAD DE MATAMOROS Y SUS ESPACIOS VERDES

Conforme a la regionalización de Morrone y col. (2022), la ciudad de Matamoros, en el Estado de Coahuila, México, se localiza en la región biogeográfica del Desierto Chihuahuense en la subprovincia de Mapimí, en las coordenadas 25° 31' norte y 103° 13' oeste a una altitud de 1 120 msnm con un clima clasificado como muy seco semicálido.

Desde su declaratoria como ciudad en 1927, Matamoros ha presentado un ritmo de crecimiento menos acelerado en comparación con las otras ciudades en la región de la Comarca Lagunera. Los datos del último censo indican que, en la ciudad viven un total de 118 mil 337 personas y el área urbana se desarrolla en mil 460 hectáreas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020).

En cuanto a sus áreas verdes, el Plan Director de Desarrollo Urbano, publicado en 2014, señala que existen únicamente 16 espacios públicos dispersos en toda la ciudad, estos incluyen los espacios verdes y otros espacios abiertos que comúnmente se les denomina "plazas públicas", de los cuales el Ayuntamiento es responsable de su mantenimiento (POE, 2014). Otro documento que hace referencia es la Estrategia Integral de Vivienda Adecuada y Urbanización Sostenible para el Estado de Coahuila, en este se indica que en Matamoros existen 0.63 m² de área verde por habitante (ONU-HABITAT, 2021). Lamentablemente, no existe otro documento oficial en el que se detallen las condiciones actuales de los espacios públicos en la ciudad.



El propósito de este trabajo es analizar las áreas verdes urbanas que son parte del espacio público abierto como: plazas, parques y jardines. Para ello, se considerará toda superficie de terreno de uso público, cubierto total o parcialmente por vegetación, abierto y accesible a peatones, con un valor ambiental, donde se pueda desarrollar una interacción agradable entre la población residente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Al ser esta investigación la primera en su tipo en la ciudad de Matamoros, se considera exploratoria, con un enfoque mixto al integrar lo cualitativo y cuantitativo en la fase de análisis. En una primera etapa se integró y sistematizó la información sobre las áreas verdes públicas recopilada en dependencias del ayuntamiento, posteriormente a través de recorridos de campo se localizan y registran sus condiciones actuales conformando así una base cartográfica. En la segunda etapa se clasificaron y diagnosticaron conforme los criterios normativos vigentes en materia de espacio público (Sistema Normativo de Equipamiento Urbano de SEDESOL, la Norma Oficial Mexicana de Espacio Público de SEDATU y para poder tomar en cuenta los espacios más pequeños, los Lineamientos para el Diseño e Implementación de Parques Públicos de Bolsillo de la SEDUVI). Los resultados constituyen un primer acercamiento sistematizado en el tema para esta ciudad y son una aportación para la toma de decisiones en política pública.

Un primer acercamiento a las condiciones en las que se encuentran estos espacios fue mediante la recopilación de información y entrevistas con el personal del ayuntamiento, además de recorridos en los que fue posible registrar las condiciones actuales. Con la información recopilada se identifican un total de 28 espacios dentro de la zona urbana de la ciudad, 12 más de las que se mencionan en el Plan Director de Desarrollo Urbano; sin embargo, cuatro áreas verdes de las 16 mencionadas en este plan no se localizaron. Por otra parte, fue posible constatar que el único espacio público integrado a la estructura y dinámica de la ciudad es la plaza cívica Benito Juárez. Resulta evidente que el resto de las áreas verdes no fueron creadas con la misma

intención y cierta jerarquía espacial que permita su accesibilidad por igual a la población que vive en sus alrededores.

Además, están los casos localizados en los fraccionamientos de interés social al poniente de la ciudad, la condición de estos espacios la definen, por una parte, el porcentaje de donación por concepto de área verde establecida en la normativa vigente, por otra, la ubicación de esta donación, comúnmente considerada por el desarrollador de vivienda, como la superficie de suelo que resulta menos idónea para la construcción de vivienda y posterior venta. Más aún, con el porcentaje de donación, sólo son posibles espacios con categoría de parques de bolsillo, espacios que como veremos más adelante, no cumplen en su totalidad con las condiciones establecidas en la normativa de espacio público consultada en este trabajo, dejando a la población residente de estos fraccionamientos con ciertas carencias en el tema de espacio público.

De este primer acercamiento, resulta la Figura 1, mapa con la ubicación de las áreas verdes urbanas identificadas al interior de la ciudad, también se identifica en recuadro gris la zona con declaratoria de centro histórico.

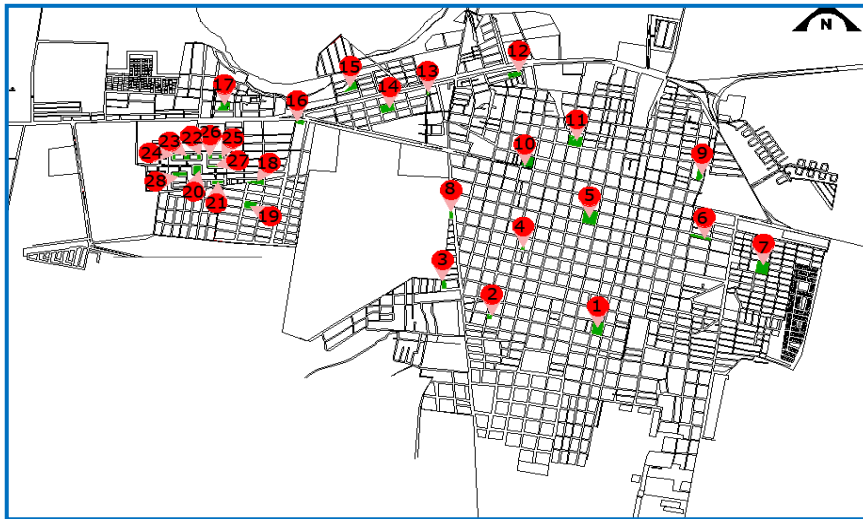


Figura 1. Ubicación de áreas verdes urbanas en la ciudad de Matamoros

Una vez identificadas las áreas verdes en el interior de la ciudad, se dio paso a su clasificación; para ello, se utilizó el tomo cinco (subsistema: recreación y deporte) del Sistema Normativo de Equipamiento Urbano de SEDESOL y la norma oficial mexicana de espacio público (Tabla 1) de SEDATU. Además,

debido a que existen algunos espacios con una superficie menor a la considerada en estos dos instrumentos normativos, se utilizaron también los Lineamientos para el Diseño e Implementación de Parques Públicos de Bolsillo (Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda [SEDUVI], 2014) para incluir una categoría que permita considerar estos espacios de menor superficie.

Tabla 1. Clasificación de las áreas verdes según el SNEU y LPBCDMX.

CLASIFICACIÓN DE LAS ÁREAS VERDES					
ESPACIO	SUPERFICIE	CATEGORÍA			
		Plaza Cívica (1,120- 16,000 m ²)	Jardín vecinal (2,500- 10,000 m ²)	Juegos infantiles (1,250- 5,000 m ²)	Parque de bolsillo
1. Jesus Rios Rueda	6,290.0		X		
2. La brera	1,041.0				X
3. Colonia Jesus Rios Rueda	1,294.0			X	
4. Los Mercaditos	351				X
5. Plaza Benito Juárez	9,192.0	X			
6. 21 de Junio	2,050.0			X	
7. C. Jardines del Oriente	7,293.0		X		
8. El Nogal	2,128.0			X	
9. Calle Vega	2,536.0			X	
10. Av. Cuauhtémoc	313.0				X
11. Col. Vega De Marrufo	6,456.0		X		
12. Manuel Muñoz	2,690.0			X	
13. Emiliano Zapata	331.0				X
14. Mariano Matamoros	4,700.0		X		
15. Nuevo Matamoros	3,029.0		X		
16. Cuauhtémoc	1,275.0			X	
17. Santo Tomás	4,283.0		X		
18. Valle Hermoso	1,220.0			X	
19. Enrique Martínez	4,120.0		X		
20. Rincón Del Valle	3,163.0			X	
21. Rincón Del Valle	1,236.0			X	
22. Rincón Del Valle	543.0				X
23. Rincón Del Valle	894.0				X
24. Rincón Del Valle	560.0				X
25. Rincón Del Valle	720.0				X
26. Rincón Del Valle	747.0				X
27. Rincón Del Valle	1212.0			X	
28. Rincón Del Valle	1,528.0			X	
TOTAL		1	7	11	9

Producto de la clasificación se obtienen las siguientes categorías: (1) Plaza Cívica; (7) jardines vecinales y (11) juegos infantiles, en total 19 espacios

públicos clasificados conforme al Sistema Normativo de Equipamiento Urbano. Además, se determinó la categoría de Parques de Bolsillo conforme a los Lineamientos para el Diseño e Implementación de Parques Públicos de Bolsillo a un total de (9) espacios públicos. En la siguiente tabla se muestran los detalles de esta clasificación.

Considerando la Norma Oficial Mexicana de Espacio Público los veintiocho espacios identificados en la tabla anterior se consideran del tipo A-1. Bajo esta clasificación la norma indica una distancia máxima de servicio a 400 metros (SEDATU, 2021).

Posteriormente se realizó a manera de diagnóstico una caracterización de cada espacio público, en la cual se consideraron los siguientes aspectos: superficie total del polígono; capa forestal y cantidad de árboles; superficie de jardín; construcciones y/o infraestructura y, superficies pavimentadas (ver ejemplo en Figura 2).

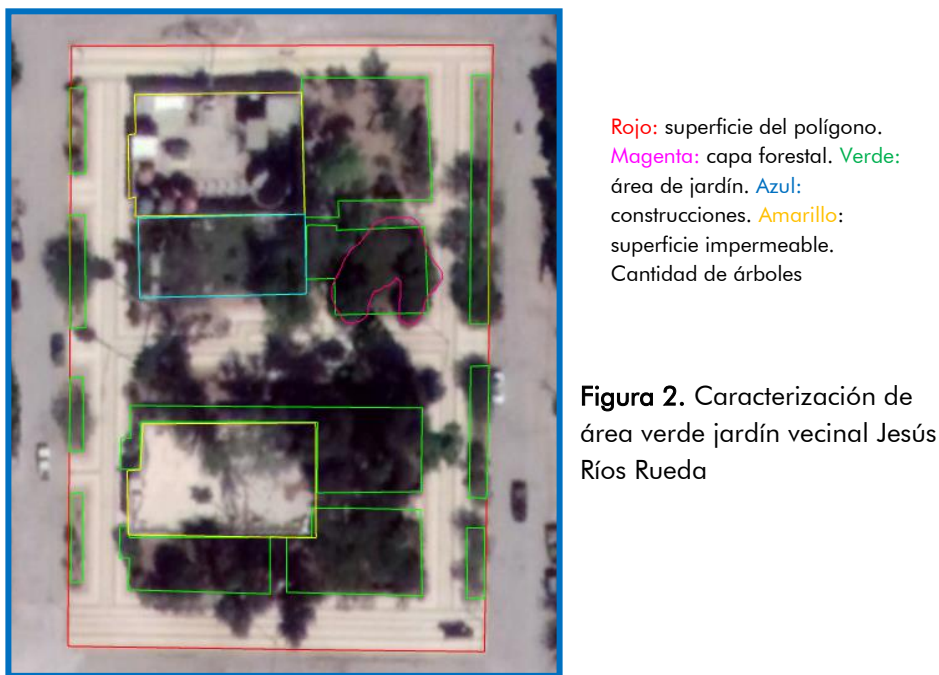


Figura 2. Caracterización de área verde jardín vecinal Jesús Ríos Rueda

Para esta caracterización se realizaron visitas de campo a cada uno de los espacios, en ellas, se cuantificaron árboles y se determinó su altura, además de observar si las condiciones generales de la vegetación influyen en las personas para hacer uso de estos espacios. En la cuantificación del arbolado también se consideraron sus características generales: si son de hoja perenne

o caducifolia, o si son palmas, y en cuanto a su altura, si esta sobrepasa los tres metros, esto último, en relación con la cobertura de su follaje y sombreado que generan. En la siguiente tabla se muestran los resultados (Tabla 2).

Tabla 2. Características de las áreas verdes.

CUANTIFICACIÓN DE ÁRBOLES								
ESPACIO/ CATEGORIA	De hoja perenne ≤ 3m	De hoja perenne > 3m	De hoja caduca ≤ 3m	De hoja caduca > 3m	Palma ≤ 3m	Palma > 3	Total de árboles	Capa Forestal
Jesus Rios Rueda / B	61	20	8	9	2	6	106	1971
La Obrera / D	6	2	2	1		7	18	1884
C. Jesus Rios Rueda / C	35		6		6		47	52.78
Los Mercaditos / D		1					1	39
Plaza Benito Juarez/ A	71	32	1		13	1 6	133	1899
21 De Junio / C	8	25	7	1		3	44	372
C. Jardines del Oriente/ B	42	20	9		10		81	511.5
El Nogal / C	7	3			1	3	14	36
Calle Vega / C	17		1				18	46
Av. Cuauhtemoc/ D	3	2		4	1		10	253
C. Vega De Marrufo/ B	3	14	5	3			25	1392
Manuel Muñoz/ C	9	5	1	2	11	1	29	420.5
Emiliano Zapata/ D		29					29	527
Mariano Matamoras/ B	7	112		5		6	130	3006
Nuevo Matamoras/ B	3	12	7	17	1	5	45	810
Cuauhtémoc/ C	2	1				3	6	215
San Tomas/ C	72	13			36	3 9	160	1343
Valle Hermosa/ C	6	11	6	8		1	32	215
Enrique Martínez/ B	17	4	8		2	3	34	358
Rincón Del Valle 20/ C		17					17	506
Rincón Del Valle 21/ C			6				6	221
Rincón Del Valle 22/ D			6				6	170
Rincón Del Valle 23/ C			10				10	226
Rincón Del Valle 24/ D			7				7	85
Rincón Del Valle 25/ D	2						2	27
Rincón Del Valle 26/ D	2						2	56
Rincón Del Valle 27/ D	1						1	51
Rincón Del Valle 28/ C	5						5	93
RESULTADOS						1,018	47,800.78	

Del análisis mostrado en la tabla anterior es posible observar: (1) Predominan los árboles de follaje perenne con un 69 %, los de follaje caducifolio representan 14 % y el 17 % restante corresponde a las palmas. (2) De los 28

espacios públicos, veinte tienen menos de cuarenta árboles. En sólo cuatro espacios públicos encontramos más de cien árboles. (3) En cuanto a la capa forestal: seis espacios sobrepasan los mil metros cuadrados; cuatro están en el rango entre 500 y 810 m²; de los 18 espacios públicos restantes, su capa forestal es menor a 500 m².

En cuanto al resto de las características que definen las condiciones generales de cada espacio público, en la siguiente tabla (Tabla 3) se muestran de manera integrada los resultados de la caracterización.

Tabla 3. Características de las áreas verdes

CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS VERDES							
ESPACIO/ CATEGORÍA	SUP. TOTAL	SUP. DE CONSTRUCCIÓN	A.V. (m ²)	CAPA FORESTAL (m ²)	CANT. DE ÁRBOLES	SUP. IMPERMEABLE	ANDADORES, ÁREA DE DESCANSO
Jesus Ríos Rueda / B	6,290	274	1,489	1971	106	793	3,586
La Obrera / D	1,041		400	1884	18	0	641
Colonia Jesus Ríos Rueda / C	1,294		475	52.78	47	0	819
Los Mercaditos / D	351		180	39	1	0	171
Plaza Benito Juárez/ A	9,192	367	1678	1899	133	949	6198
21 De Junio / C	2,050		1019	372	44		1,031
C. Jardines Del Oriente/ B	7,293		5204	31511.5	81	1367	722
El Nogal / C	2,128		447	36	12	381	1300
Calle Vega / C	2,536		636	46	18	600	1,300
Av. Cuauhtémoc/ D	313		152	253	10		161
C. Vega De Marrufo/ B	6,456		5251	1392	25	1232	0
Manuel Muñoz/ C	2,690		940	420.5	29	694	1,056
Emiliano Zapata/ D	331		331	527	29	0	0
Mariano Matamoros/ B	4,700	294	3,000	3006	130	396	1,010
Nuevo Matamoros/ B	3,029		1,374.5	810	45	553	1,102
Cuauhtémoc/ C	1,275		1011	215	6	0	910
Santo Tomás/B	4,283		2,919	1343	160	0	2,083
Valle Hermoso/ C	1,220		419	215	32	405	396
Enrique Martínez/ B	4,120		2,227	358	34	550	1,343
Rincon Del Valle 20/ C	3,163		2,114.5	506	17	430	301
Rincon Del Valle 21/ C	1,236		1,236.	221	6		
Rincon Del Valle 22/ D	543		543	170	6		
Rincon Del Valle 23/ D	894		894	226	10		
Rincon Del Valle 24/ D	560		560	85	7		
Rincon Del Valle 25/ D	720		720	27	2		
Rincon Del Valle 26/ D	747		747	56	2		
Rincon Del Valle 27/ C	1212		1212	51	1		
Rincon Del Valle 28/ C	1,528		1528	93	5		
RESULTADOS	71,195		38,743	47800.78	840.0	8,350.0	23,126.0

De la tabla anterior destaca, en primer lugar, la cobertura vegetal, dado que en ningún espacio se sobrepasa un 10 % de capa forestal, más aún, 21 de los 28 espacios públicos no sobrepasan una cobertura de 5 %. En promedio hay un árbol por cada 15 m² de espacio público.

En segundo lugar, en relación con las superficies impermeables: en ocho espacios no se tiene ningún tipo de superficie pavimentada (corresponde principalmente a los parques de bolsillo); en seis espacios la proporción de superficies pavimentadas oscilan entre 13 y 40 % de la superficie total del lugar; en los seis restantes, la proporción oscila entre 53 y 96 % del total de la superficie, de estos últimos, destacan los siguientes casos: Valle Hermoso, calle Vega, El Nogal y Manuel Muñoz.

Ahora bien, durante las visitas de campo también se identificó que los espacios con mayor densidad de follaje (cobertura aérea foliar) son los que presentan mayor afluencia de tránsito o estadía en las diferentes horas del día, esto debido seguramente a las condiciones de sombra que genera el arbolado y con ello se favorece las condiciones de confort. Lo anterior se observa en mayor medida en los sitios donde además de sombra, se cuenta con mobiliario como bancas o juegos infantiles, elementos que contribuyen en la realización de actividades o simplemente descansar. Como parte de la observación también quedó de manifiesto que el asunto del arbolado está relacionado con sus aportaciones al espacio, esto es, en varios sitios se contaba con diversos árboles jóvenes de poca altura y escaso follaje, que resultan ser pequeños e inapropiados para contribuir en la generación de condiciones de confort, por otro lado, sitios en los que son pocos los árboles, pero con altura y follaje que provocan sombra y condiciones atractivas para hacer estancia.

Una vez integradas las características de cada espacio es posible determinar la superficie *per cápita* que se tiene en la ciudad. Con el total de 28 áreas verdes la suma de sus polígonos reúnen apenas 71,195 m², que al ser distribuidas entre el total de la población de la ciudad (118,337 habitantes) resulta una proporción de 0.60 m² de área verde por habitante, un valor cercano al indicado en la Estrategia integral de vivienda adecuada y urbanización sostenible para el Estado de Coahuila (ONU-HABITAT, 2021), el cual es inferior a lo establecido en los instrumentos antes mencionados, de hecho, este resultado está aún por debajo de los objetivos en el Plan Director de Desarrollo Urbano, donde indica pretender lograr un estándar de 7 m² por

habitante en materia de espacio público recreativo y deportivo y de 3 m² por habitante en materia de área verde para paseo y paisajismo (POE, 2014). En este sentido, en el actual Plan Municipal de Desarrollo sólo se establecen como líneas de acción: Fortalecer las tareas operativas de atención de áreas verdes, parques y jardines, e incrementar el porcentaje de áreas verdes y espacios públicos mediante su rescate y la creación de nuevos, asegurando su mantenimiento constante.

Los resultados de la caracterización obtenidos hasta ahora se sintetizan en los siguientes cuatro grupos para su mayor entendimiento.

1. primer grupo se incluyen aquellos espacios con suficiente vegetación y mobiliario, que generan condiciones óptimas de confort principalmente por la sombra que generan las copas de los árboles, que invitan a la población a permanecer, siendo los siguientes espacios: plaza cívica Benito Juárez; jardín vecinal Jesús Ríos Rueda; jardín vecinal col. Mariano Matamoros; jardín vecinal col. Santo Tomás; parque de bolsillo Emiliano Zapata; parque de bolsillo col. La Obrera.

2. En el segundo grupo, se identifican aquellos espacios públicos que en los recorridos fue posible identificar una falta de mantenimiento o cierto grado de destrucción, contienen escasa vegetación y su mobiliario lo conforma principalmente juegos infantiles, son espacios poco visitados por la población, entre estos se identifican: juegos infantiles col. 21 de junio; juegos infantiles Geo Manuel Muñoz; parque de bolsillo Av. Cuauhtémoc.

3. En el grupo tres, se identifican los espacios en los que prevalecen las superficies pavimentadas, por lo tanto, cuentan con escasa vegetación, su acceso es ocasional por las tardes en particular por la población que reside cercana a ellos, estos casos son: jardín vecinal col. Nuevo Matamoros; jardín vecinal del Valle. col. Enrique Martínez; juegos infantiles col. El Nogal; juegos infantiles C. Vega; juegos infantiles Cuauhtémoc; Juegos infantiles Rincón del Valle 20.

4. En el último grupo, se incluyen aquellos espacios públicos que no cumplen con las características definidas en la normativa, con escasa o nula vegetación, sin mobiliario, y que prácticamente no son visitados por la población, los casos son: col. jardines de oriente; rincón del valle 21-28.

Con la finalidad de robustecer el análisis, se aplicó el estándar definido por Gámez Bastén (2005), el cual determina que un área verde debe contener grupos de árboles con una densidad de 60 a 200 m² de capa forestal con 50 o 160 árboles, y con ello contribuir de manera positiva en el medio ambiente. En el mapa de la Figura 3, se identifican los espacios que cumplen con este estándar.

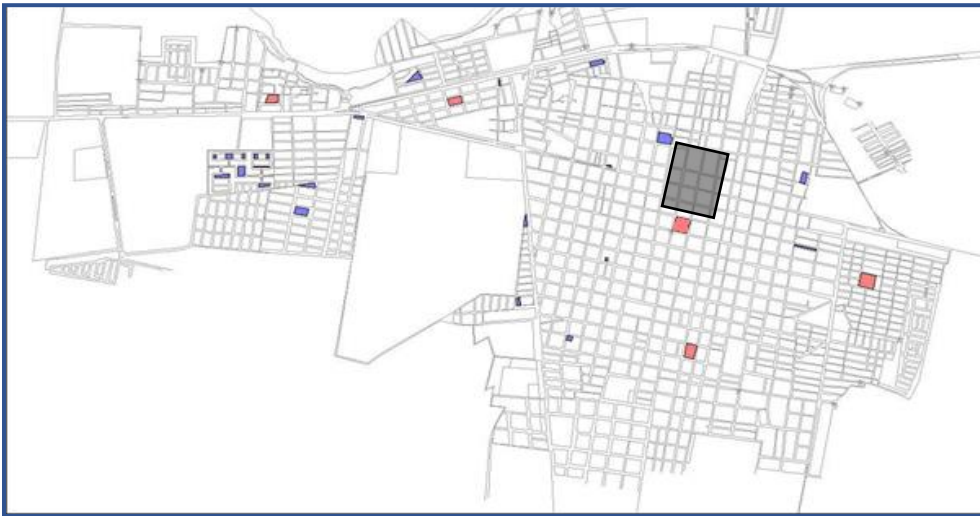


Figura 3. Espacios efectivos para una contribución positiva al medio ambiente.

En color rosa se muestran las áreas que tienen más de cincuenta árboles, como se puede observar los resultados de aplicar este criterio son desfavorables, dado que sólo cinco de los espacios públicos analizados cumplen con el estándar y ofrecen condiciones positivas al medio ambiente, a continuación, las condiciones de los cinco espacios.

1. Plaza Cívica Benito Juárez- 133 árboles - capa forestal 1899m². 2. Jardín Vecinal Jesús Ríos Rueda-106 árboles- capa forestal 1971m². 3. Jardín Vecinal Jardines del oriente - 81 árboles- capa forestal 511.5 m². 4. Jardín Vecinal Mariano Matamoros -130 árboles capa forestal - 3006 m². 5. Jardín Vecinal Col. Santo Tomás -160 árboles - capa forestal de 1343m².

Otro aspecto analizado fue la distribución y acceso, para ello se analizó el radio de cobertura y servicio conforme lo establece el Sistema Normativo de Equipamiento Urbano (SEDESOL, 1999) en este instrumento se indica que: la plaza cívica tiene un radio de cobertura de 1,340 metros; el jardín vecinal 350 metros y la categoría de juegos infantiles 350 metros de cobertura y servicio. En cuanto a los parques de bolsillo, aun cuando los lineamientos de diseño de la SEDUVI no asignan un radio de cobertura y servicio o área de influencia, se consideró un parámetro de 150 metros, debido a que los parques de bolsillo son espacios de transición e interacción entre avenidas con mayor actividad peatonal. Lo anterior se encuentra referido en la Figura 4.



Figura 4. Radios de cobertura y servicio.

De los 28 espacios públicos considerados, solo 14 cuentan con las condiciones para satisfacer las necesidades básicas de ocio y recreación de la población; por lo tanto, solo a estos se les asignaron los radios de cobertura y servicio (Tabla 4). Cada radio de cobertura ofrece servicio a una cantidad de población que se determinó con los datos de INEGI (2020).

Tabla 4. Población atendida según el radio de cobertura y servicio.

CATEGORÍA	ESPACIO PÚBLICO	POBLACIÓN ATENDIDA	%
Plaza Cívica	Plaza Benito Juárez	Nivel ciudad	-
Juegos Infantiles	21 de junio	3,586	42.4%
	El Nogal	2,498	
	Manuel Muñoz	2,621	
	Valle Hermoso	3,026	
Jardín Vecinal	Jesús Ríos Rueda	3,586	45.9%
	Mariano Matamoros	2,632	
	Nuevo Matamoros	1,675	
	Santo Tomás	2,315	
	Col. Enrique Martínez	2,483	
Parques de Bolsillo	La Obrera	922	11.7%
	Av. Cuauhtémoc	848	
	Emiliano Zapata	622	
	Los Mercaditos	851	
TOTAL		27,665	100%

DISCUSIÓN

A través de este trabajo se presenta, por primera vez, un diagnóstico sistematizado de las áreas verdes urbanas de la ciudad de Matamoros, Coahuila. Las condiciones en las que se encuentran estos espacios públicos demuestran un importante déficit al contar con una dotación de 0.60 m^2 por habitante; este valor toma en cuenta los 28 espacios públicos identificados al inicio del trabajo. Sin embargo, si se consideran los 14 que cumplen únicamente con las condiciones ambientales, de mobiliario e infraestructura, este indicador disminuye a 0.28 m^2 per cápita.

En la revisión de la literatura sobre el tema, fue categórica la referencia al concepto de área verde urbana, concepto que promueve la creación y el mantenimiento de redes de espacios públicos, bien conectados y de calidad, entendiendo lo anterior como: abiertos, seguros, inclusivos, accesibles, verdes y destinados a fines múltiples. En cuanto a sus beneficios, los principales son: la disminución de la temperatura y la sensación térmica. En este sentido, el trabajo de Villanueva-Solis y col. (2020) sobre las principales áreas verdes de

la ciudad de Torreón, indica que entre mayor sea la superficie impermeable y menor la superficie de vegetación, se reducen los efectos positivos al microclima y, por lo tanto, se afectan las condiciones de confort, así como la capacidad de mitigación del efecto isla de calor. Los resultados de este trabajo dejan de manifiesto lo anterior al señalar que ningún espacio superó un 10% de capa forestal, más aún, 21 de los 28 espacio públicos analizados no superan el 5 % de cobertura forestal.

Ahora bien, en cuanto a la distribución, cobertura y clasificación conforme a los instrumentos normativos vigentes, los hallazgos de este trabajo señalan que solo el 23.4 % de la población tiene acceso a un espacio público con vegetación y condiciones apropiadas para el ocio y la recreación, dado que sólo 14 de los 28 espacios públicos cumplen con las características normativas y ambientales. Para aumentar el acceso a la población a un 43% se debe llevar a cabo acciones de reforestación, mantenimiento y sustitución de mobiliario en los 14 espacios restantes. Sin embargo, aún queda un 57% de la población sin acceso, para ello será necesario crear nuevos espacios verdes públicos, y para ello, será necesaria la planificación y los recursos necesario para su ejecución, de lo contrario sólo se llegará a plantar algunos árboles en espacios remanentes, una práctica habitual desde hace tiempo que ha derivado en las condiciones actuales del espacio público. Esta planificación y gestión debe llevarse a cabo al margen de los tiempos e intereses políticos de la administración pública del ayuntamiento, debe ser un verdadero ejercicio de participación de la comunidad en el que se definan y comprometan a mediano y largo plazo las acciones y recursos necesarios, para conformar y mantener en condiciones óptimas los espacios públicos de la ciudad.

Para resaltar lo anterior, al observar el crecimiento de la ciudad, de su población y su dinámica social, resulta necesario señalar la necesidad urgente de espacios con mayor cobertura y capacidad de servicio y actividades. Actualmente, sólo la plaza cívica Benito Juárez ofrece un alcance a escala de ciudad, y sus actividades importantes son ocasionales en festejos oficiales o culturales. En este sentido y de acuerdo con la Nueva Agenda Urbana, se debe tener en cuenta que la ciudad sea accesible para todas las personas y permitir que todos tengan acceso a la recreación, la cultura y otros servicios próximos y accesibles.

A lo largo del presente texto se dimensionó el beneficio social y ambiental de los espacios públicos, en ellos, la población puede llevar a cabo actividades de recreación y deporte al aire libre, contribuir a la salud física y mental,



además de reforzar la identidad y el sentido comunitario. Sin dejar de lado, que las áreas verdes urbanas a su vez contribuyen positivamente al microclima, contribuyen a mejorar la calidad del aire a través de la captura de contaminantes, absorben CO₂, reducen la erosión del suelo y son un hábitat para la fauna. Por si lo anterior no fuera suficiente, adicionalmente ofrecen beneficios económicos como: incrementan el valor del suelo y de las propiedades adyacentes al mejorar la imagen urbana y reducen el consumo de energía en las edificaciones.

Con los resultados de este trabajo se espera, contribuir en la elaboración de instrumentos de política pública y con ello, en la toma de decisiones y estrategias futuras a favor del espacio público y sus áreas verdes. También, difundir los hallazgos para incentivar la participación comunitaria en la definición de proyectos y acciones de mejora de los espacios públicos, dado que son para el goce y disfrute de todos los ciudadanos.

Suficiente queda por hacer en términos de la gestión de las áreas verdes en la ciudad de Matamoros, son amplias las expectativas en cuanto a sus servicios y contribuciones al bienestar de la población. Si bien, se puede considerar que existe un incipiente avance en materia normativa en la entidad, también se carece de instrumentos técnicos y financiamiento que permitan llevar a cabo el trabajo de planificación integral de las áreas verdes y con ello, estar en condiciones de efectuar acciones que permitan cumplir los compromisos adquiridos a través de las agendas internacionales, por ejemplo: el indicador 11.7.1 de los objetivos del desarrollo sustentable.

Por último, es necesario replantear el concepto de área verde urbana-espacio público en una región árida, con el fin de alcanzar la complejidad necesaria y las condiciones de las exigencias actuales, esto es, lugares para el ocio y la recreación, los servicios ambientales y resiliencia climática. Pensar las *áreas verdes urbanas-espacio público* bajo estas dimensiones sobrepasa sin lugar a duda los índices de metros cuadrados por habitantes utilizados en este trabajo. En este sentido, llevar el concepto en estas dimensiones al ámbito del desarrollo urbano, requerirá el rediseño de políticas públicas y un marco institucional que conlleve acciones económicamente viables, ecológicamente factibles y socialmente aceptables, con una visión de largo plazo que supere a las orientaciones partidistas de las administraciones locales.

CONCLUSIONES

Al concluir que en Matamoros solo 14 áreas verdes cumplen con las condiciones básicas, significa que solo el 23.4 % de la población tiene acceso a un espacio público con vegetación y condiciones apropiadas para el ocio y la recreación. Aun cuando los criterios de cobertura de una plaza cívica se establecen a escala de ciudad, en realidad acuden a ella mayormente las personas que viven en su alrededor inmediato, también quienes acuden al centro para realizar compras o trámites en las dependencias cercanas, o bien, en las fechas importantes en las que se realiza alguna actividad en la presidencia municipal.

Ahora bien, si consideramos por un momento la suposición de que los 28 espacios públicos identificados al inicio de este trabajo cuentan con las condiciones ambientales, de mobiliario e infraestructura necesarias para llevar a cabo actividades recreativas y de ocio de la población. Bajo los criterios normativos y procedimiento del análisis realizado anteriormente, los resultados indican que sólo el 43 % de la población tendría acceso a un área verde urbana, lo cual denota que más de la mitad de la población tiene que recorrer por lo menos 350 metros para acceder a un espacio público, distancia equivalente a siete cuerdas. Este supuesto, bien puede ser considerado bajo las líneas de acción del Plan Municipal de Desarrollo vigente, dado que antes de crear nuevos espacios, habrá que mejorar los existentes para que cumplan los criterios normativos y subsanen las carencias de la población a este respecto.

REFERENCIAS

- Castro Tanzi, S. (2005). Evaluación de un índice para valorar las áreas verdes urbanas: su aplicación y análisis en la localidad de Barrio Dent y Altos del Escalante con una perspectiva geográfica. *Reflexiones*, 84(1): 107–125.
- Ceren Say, S., & Cevik, E. (2019). Evaluating urban green space accessibility: Comparing Besiktas and Sisli districts. *SJCRP*, 1(1): 54-70. <https://doi.org/10.5505/sjcrp.2019.98608>

- Flores-Xolocotzi, R. (2017). Una reflexión teórica sobre estándares de áreas verdes empleados en la planeación urbana. *Economía, Sociedad y Territorio*, 17(54): 491-522. <http://dx.doi.org/10.22136/est002017682>
- Gómez Bastén, V. (2005). Sobre sistemas, tipologías y estándares de áreas verdes en el planeamiento urbano. *Revista Electrónica DU&P. Diseño Urbano y Paisaje*, 2(6): 2 <http://dup.ucentral.cl/pdf/000002.pdf>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. México: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Marambio Castillo, A., Romano Grullón, Y., Crespo, M. C., & Colaninno, N. (2017). *Guía Metodológica: Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano* (PMDUs) (1st ed.). Ciudad de México: SEDESOL.
- Mena, C., Ormazábal, Y., Morales, Y., Santelices, R., & Gajardo, J. (2011). Índices de área verde y cobertura vegetal para la ciudad de Parral (Chile), mediante fotointerpretación y SIG. *Ciencia Florestal*, 21(3): 521-531.
- Morrone, J. J., Acosta, R., & Fernández, J. A. (2022). Biogeographic units in the Chihuahuan Desert: Implications for regionalization and area nomenclature. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93: e933907. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.3907>
- SEDATU (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano) (2021). NOM-001-SEDATU-2021. Espacios públicos en los asentamientos humanos. Ciudad de México SEDATU. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/982106/NOM-001-SEDATU-2021.pdf>
- ONU-HABITAT. (2017). Hábitat III. Nueva Agenda Urbana. Nairobi: Organización de las Naciones Unidas. ISBN 978-92-1-132736-6
- ONU-HABITAT. (2021). Estrategia integral de vivienda adecuada y urbanización sostenible para el Estado de Coahuila. <https://onu-habitat.org/index.php/estrategia-integral-de-vivienda-adecuada-y-urbanizacion-sostenible-para-el-estado-de-coahuila>
- Pafi, M., Siragusa, A., Ferri, S., y Halkia, M. (2016). Measuring the accessibility of urban green areas: a comparison of the green ESM with other datasets in four European cities, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2788/279663>
- Peña Salmón, C. Á. (2011). Metodología para la planificación de áreas verdes urbanas: El caso de Mexicali, Baja California. Universidad Autónoma de Baja California. ISBN 978-607-607-361-2
- POE (Periódico Oficial del Estado de Coahuila de Zaragoza). (2014). *Plan Director de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Matamoros*, Coahuila de Zaragoza. Periódico Oficial del Estado de Coahuila de Zaragoza. Tomo CXXI No. 12 primera sección. <http://periodico.segobcoahuila.gob.mx/ArchivosPO/17-SS-28-FEB-2014.PDF>

- SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social). (1999). *Sistema normativo de equipamiento urbano. Tomo V Recreación y deporte*. Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, SEDESOL. México, D.F. <https://piedepiano.com/wp-content/uploads/2020/12/tomo-v.-recreacion-y-deporte.pdf>
- SEDUVI (Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda). (2014). *Lineamientos para el diseño e implementación de parques públicos de bolsillo*. Ciudad de México: SEDUVI, pp. 16-21. <https://www.seduvi.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/5f1/b18/45a/5f1b1845a5dc8144508643.pdf>
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. R. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. <https://doi.org/10.18235/0010248>
- Villanueva-Solis, J., Quiroa, J. H., Flores de la O, J., & Medina, A. I. (2020). *Infraestructura verde: Evaluación de los servicios ambientales de tres parques urbanos en clima árido. El caso de Torreón, Coahuila*. En S. Ceballos, J. Villanueva y J. Quiroa (Eds.), *Infraestructura verde y planeación urbana para el desarrollo urbano sustentable*, pp. 29-57. Universidad Autónoma de Coahuila, El Colegio del Estado de Hidalgo. <https://doi.org/10.47386/20203007B2>
- Zhang, J., Yue, W., Fan, P., & Gao, J. (2021). Measuring the accessibility of public green spaces in urban areas using web map services. *Applied Geography*, 126: 102381. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102381>

POLÍMEROS DE COORDINACIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA DETECCIÓN DE CONTAMINANTES

COORDINATION POLYMERS AND APPLICATION IN SENSING OF POLLUTANTS

ANTONIO TÉLLEZ LÓPEZ^{1, 2}

VÍCTOR SÁNCHEZ MENDIETA²

RESUMEN

Los polímeros de coordinación (PCs) son compuestos metal-orgánicos que pueden sintetizarse a partir de iones metálicos (átomos centrales) y moléculas orgánicas (ligantes), generando una gran diversidad de estructuras poliméricas y supramoleculares en una, dos y tres dimensiones. Debido a esta versatilidad de estructuras poseen distintas propiedades entre las que destacan las luminiscentes, este tipo de propiedades se encuentran cuando hay la presencia de ligantes orgánicos aromáticos o policarboxílicos insaturados y iones metálicos de zinc, cadmio y algunos lantánidos. Una vez caracterizadas sus propiedades luminiscentes pueden probarse como sensores de moléculas o iones, algunos de estos considerados contaminantes, contribuyendo a la detección, cuantificación y, en algunas ocasiones, remoción de estos.

Palabras clave: polímeros de coordinación; métodos de obtención; propiedades luminiscentes; detección de contaminantes.

1. Facultad de Química, Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable, Universidad Autónoma del Estado de México.
2. División de Ingeniería Industrial e Ingeniería en Energía, Universidad Politécnica del Valle de Toluca.

ABSTRACT

Coordination polymers (CPs) are metal-organic compounds that can be synthesized from metal ions (central atoms) and organic molecules (ligands), generating a great diversity of polymeric and supramolecular structures in one, two and three dimensions. Due to this versatility of structures, they have different properties, among which the luminescent ones stand out. This type of properties is found when there is the presence of unsaturated aromatic or polycarboxylic organic ligands and metal ions of zinc, cadmium and some

Correspondencia
 antoniotellez712@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-4212-2257>
 Fecha de recepción
 22 de enero de 2025.

lanthanides. Once their luminescent properties have been characterized, they can be tested as sensors of molecules or ions, some of which are considered contaminants, contributing to sensing, quantification and sometimes their removal.

Keywords: *coordination polymers; production methods; luminescent properties; sensing of pollutants.*

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones en el campo de los polímeros de coordinación (PCs) han incrementado en los últimos años debido a las diversas aplicaciones que pueden presentar, entre las que destacan el almacenamiento de gases, catálisis, administración de fármacos, almacenamiento de energía, electrónica, fotónica, detección y remoción de moléculas contaminantes.

Los PCs son compuestos formados por ligantes orgánicos (conectores), unidos a iones metálicos (nodos o átomos centrales). Estos ligantes juegan un papel importante en este tipo de compuestos, ya que, dependiendo el modo de conexión, será la estructura final que pueden tener. Los PCs pueden formar compuestos unidimensionales (1D), bidimensionales (2D) o tridimensionales (3D) (Figura 1).

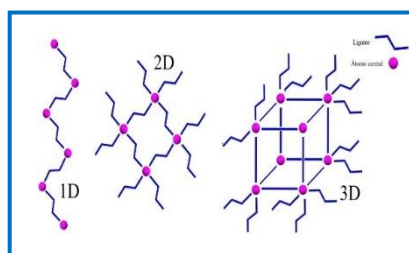


Figura 1. Dimensionalidad de los polímeros de coordinación.

A continuación, se presenta una revisión que destaca los avances recientes en el diseño racional de PCs luminiscentes aplicados en la detección de iones y moléculas contaminantes, enfatizando su potencial para el desarrollo de soluciones ambientales y biomédicas. Asimismo, se aborda una evaluación crítica de los retos actuales y las proyecciones futuras que guían la investigación en este campo emergente.

1. DISEÑO DE LOS POLÍMEROS DE COORDINACIÓN

La síntesis de estos materiales comienza con la elección de los componentes, en primer lugar se tiene el metal o ion metálico, el cual se elige, entre otras cosas, por su capacidad para generar nodos conectores. Los más utilizados son los metales de transición, lantánidos, metales del bloque “p”, incluso algunos alcalinos y alcalinotérreos, y todos los iones derivados de estos. Funcionan bastante bien, debido a que tienen la capacidad de generar diferentes geometrías de coordinación, dependiendo el número de átomos con los que se enlace, pueden ser: lineal, trigonal plano, en forma de T, tetraédrica, cuadrado plano, pirámide de base cuadrada, bipirámide trigonal, octaédrica, prisma trigonal, bipirámide pentagonal, y sus formas distorsionadas (Figura 2). Además, estos también pueden ser condicionantes de las propiedades finales que puedan poseer dichos polímeros, por ejemplo, sus propiedades magnéticas, ópticas, eléctricas, catalíticas, fotocatalíticas, lumínicas, entre otras (Liu y col., 2020).

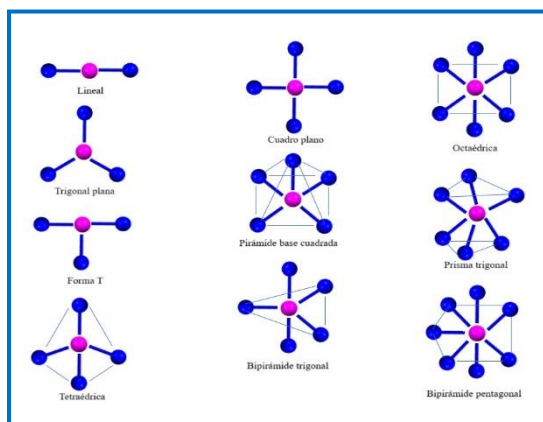


Figura 2. Geometrías de coordinación.

Una parte crucial en el diseño de los PCs es la elección del ligante, debido a que este determinará la estructura final del compuesto y, sobre todo, su dimensionalidad. Estos ligantes son moléculas orgánicas las cuales tienen distintas conformaciones (formas y tamaños), que a su vez poseen átomos capaces de formar enlaces con el átomo central (donantes) como: oxígeno, nitrógeno, azufre, etc. Los ligantes se pueden considerar ligantes de tipo ancla (Figura 3a) o ligantes de tipo puente (Figura 3b). Los ligantes tipo ancla tienen como finalidad condicionar la estructura final del polímero, esto debido a que pueden ocupar dos y hasta tres sitios de coordinación del metal, dependiendo el tipo de molécula. Ahora bien, los ligantes de tipo puente tienen la importante tarea de unir a los átomos centrales, a partir de esto se forman los

polímeros de coordinación, y además dictamina su dimensionalidad. Los ligantes de tipo puente se obtienen a partir de distintas moléculas orgánicas, que destacan por su conformación y tamaño, generando una gran variedad de simetrías y modos de conexión, algunas de estas moléculas son los ácidos di y policarboxílicos, además de heterociclos con átomos de nitrógeno y azufre (Kuznetsova y col., 2020).

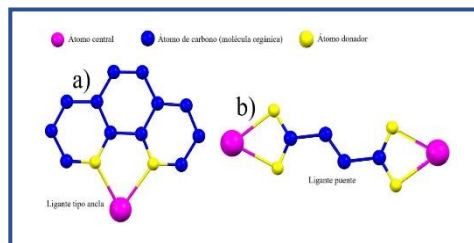


Figura 3. a) Ligantes tipo ancla y b) Ligantes tipo puente.

Los ligantes de tipo puente a su vez pueden tener una clasificación, la cual depende de la versatilidad de unión entre los átomos centrales, ésta puede ser en ligantes de tipo puente rígidos y flexibles. Los ligantes de tipo puente rígidos (Figura 4a) son aquellos que no se modifican dentro de la estructura, es decir que no tienen la capacidad de rotar sus enlaces internos o reorientarse, por lo que se puede tener un mayor control de la estructura final o predecir mejor su conformación. En contraparte tenemos a los ligantes de tipo puente flexibles (Figura 4b), los cuales debido a la presencia de algunos enlaces dentro de su conformación, tales como: $-(CH_2)_n-$, $-CH_2-N-$, $-CH_2-O-$, $-CH_2-S-$, poseen la capacidad de rotar sobre sus enlaces internos generando estructuras más versátiles difíciles de predecir, debido a esto, en algunas ocasiones los ligantes pueden responder a distintos estímulos externos como temperatura, presión o las moléculas ocluidas en la estructura, que pueden hacer que se modifique su conformación obteniendo porosidad variable. Lo que los vuelve candidatos para aplicarlos en almacenamiento, separación, sorción/desorción y detección de moléculas por su comportamiento dinámico (Behera y col., 2021).

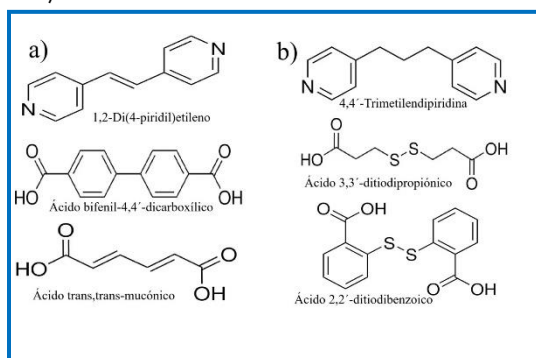


Figura 4. a) Ligantes tipo puente rígidos y b) Ligantes tipo puente flexibles.

El diseño de los PCs juega un papel fundamental en las propiedades que estos puedan presentar, así como en las aplicaciones que puedan tener. Para el uso de los PCs en la detección de moléculas, principalmente agentes contaminantes, se requiere que tengan propiedades luminiscentes. Éstas pueden ser promovidas de las siguientes maneras.

- El tipo de metal o ion metálico: se usan principalmente iones metálicos con configuraciones electrónicas de capa cerrada, como metales de transición con configuraciones d^0 o d^{10} , alcalinos, lantánidos, alcalinotérreos y algunos metales del grupo 13 y 14 (por ejemplo, Cd^{2+} , Zn^{2+} , In^{3+} , Sn^{4+} , Tb^{2+} entre otros) (Hasegawa y Kitagawa, 2022).
- Los ligantes: se pueden utilizar algunos ligantes con estructuras electrónicas específicas, principalmente con presencia de dobles enlaces conjugados (sistemas π -conjugados), debido a esto pueden presentar propiedades luminiscentes, incluso algunos ácidos policarboxílicos al ser desprotonados se pueden modificar las intensidades de luminiscencia (algunos ejemplos son los derivados de la 2,2'-dipiridina, 4,4'-dipiridina, ácido bifenil-4,4'-dicarboxílico, entre otros) (He y col., 2022).

En los PCs la luminiscencia puede surgir debido a contribuciones combinadas, por el centro metálico y el ligante. Un ejemplo de PC luminiscente se observa en $\{Zn(H_2O)(1,4\text{-chdc})(4,4'\text{-dmb})\}_n$ que es un PC unidimensional (1D) donde el 1,4-chdc (1,4-ciclohexanodicarboxilato) es un ligante puente, 4,4'-dmb (4,4'-dimetil-2,2'-bipiridina) ligante ancla y como átomo central un ion metálico de Zn (II) (Figura 5)(Rosales y col., 2019).

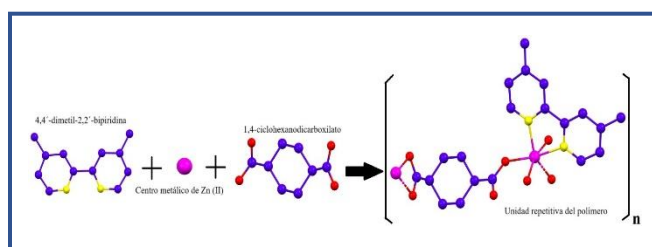


Figura 5. Esquema de síntesis y estructura de un PC 1D (donde morado-zinc, amarillo-nitrógeno, rojo-oxígeno, azul-carbono).

2. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LOS POLÍMEROS DE COORDINACIÓN (SÍNTESIS)

Existen distintas metodologías para lograr la síntesis de los PCs, algunas son bastante sencillas y otras más complejas porque requieren uso de material y equipo más sofisticado. La obtención de compuestos monocristalinos se vuelve

importante para realizar trabajos de investigación, ya que permiten realizar un análisis estructural más detallado (Dzhardimalieva y Uflyand, 2017). Inicialmente los PCs luminiscentes se sintetizaban usando una técnica de difusión, en la actualidad las metodologías sintéticas más empleadas para la obtención de PCs luminiscentes se mencionan a continuación.

- Solvo(hidro)termal. Esta metodología consiste en colocar todos los reactivos junto con un disolvente (agua, etanol, metanol, etc.) en un reactor cerrado, bajo ciertas condiciones de reacción, altas temperaturas por encima de los 90 °C y largos tiempos, que van desde 24 hasta 72 horas o más. Se busca tener una temperatura mayor a la temperatura de ebullición del disolvente, porque así se aumenta la solubilidad de los reactivos favoreciendo la difusión y a su vez la formación de cristales de los PCs. A esta temperatura también se presenta un aumento en la presión, por lo que los reactores se encuentran hechos de una capsula de porcelana y una cubierta de acero inoxidable (Muslim y col., 2021).
- Evaporación lenta del disolvente. Por lo general se da a temperatura ambiente, en donde la formación del producto final ocurre por la mezcla de los reactivos en un reactor, a través de reacciones en solución, en por lo menos dos disolventes distintos. Los iones metálicos y los ligantes orgánicos tienen interacciones de reconocimiento molecular o autoensamblaje, formando así el compuesto esperado. Además, es importante la elección de disolventes adecuados, el pH y la estequiometría (Lin y col., 2023).
- Mecanoquímica. Este método de síntesis a diferencia de los vistos anteriormente, no se requiere el uso de disolventes, ya que las reacciones son activadas por trituración o molienda. Una manera de realizar estos procesos mecanoquímicos es colocar los reactivos en un reactor con bolas de acero pequeñas denominado “molino de bolas”, donde se lleva a cabo la rotura de enlaces intramoleculares provocando una transformación química y la obtención de los productos. Sus principales ventajas son: simplicidad del proceso, reducción de la contaminación, bajo coste, facilidad de procesamiento y la selectividad.
- Asistida por microondas. La síntesis se logra por el calentamiento directo de los disolventes, lo que promueve un aumento en la tasa de nucleación de los cristales que se traduce en una aceleración de la cristalización, formación de materiales nanométricos y mejora de la pureza del producto final. Los parámetros a considerar en la síntesis asistida por microondas son el disolvente, el tiempo de irradiación, la temperatura de reacción y la relación molar de los reactivos.

- **Sonoquímica.** Los reactivos son disueltos y se introducen en un reactor Pyrex tipo bocina equipado con una barra ultrasónica con potencia de salida regulada sin enfriamiento externo, posteriormente se les aplica energía de ultrasonido lo que proporciona una disminución del tiempo de cristalización y una nucleación homogénea. Con el uso de esta metodología se puede mejorar la velocidad de reacción, la pureza, el tamaño de los cristales y el rendimiento.

En menor proporción se utilizan los siguientes métodos.

- **Difusión.** Se utiliza cuando los reactivos son poco solubles, esta técnica se caracteriza por la obtención de los cristales del polímero de coordinación en una interfaz. Los reactivos se separan en dos disoluciones, generalmente los iones metálicos en una (fase acuosa) y los ligantes orgánicos en otra (fase oleosa), posteriormente una se pone en contacto con la otra lentamente, evitando que se mezclen rápidamente. Después de un tiempo los ligantes se difunden lentamente con los iones orgánicos promoviendo la formación de una red de coordinación, formando así el compuesto de coordinación.

- **Síntesis urotérmica.** Es una técnica que tiene como principio la síntesis solvo(hidro)termal con una modificación, la cual consiste en que se usa como disolvente a la urea y sus derivados. Ya que algunas veces dicha molécula se puede coordinar al ion metálico, una vez formados los PCs cristalinos, la urea se puede eliminar fácilmente del compuesto generando porosidad en el compuesto y sitios metálicos abiertos, lo que puede traer aplicaciones prometedoras a los compuestos sintetizados por este método.

- **Síntesis en CO₂ supercrítico.** Consiste en el uso de CO₂ supercrítico (por encima de 31 °C y 73.8 atm) como disolvente, ya que en éste se encuentra en un estado entre el líquido y gas lo que le permite difundir a los reactivos. Dicha mezcla se introduce en un reactor presurizado capaz de mantener las condiciones del CO₂ supercrítico, posteriormente se aumenta la temperatura manteniéndola en un rango de 40 a 80 °C generando presiones mayores a las 73 atm. Por último, se comienza a enfriar el sistema reduciéndose la presión y regresando a condiciones ambientales, logrando así la formación del producto, dicho proceso puede tardar varias horas e incluso días.

- **Síntesis ionotérmica.** Nuevamente es una adecuación de la síntesis solvo(hidro)termal, donde el disolvente utilizado es ahora un líquido iónico o disolvente eutéctico. Aprovechando sus propiedades como presión de vapor cero, alta estabilidad térmica y buena solvatación; esto los vuelve interesantes



para llevar a cabo la síntesis de los PCs. Los líquidos iónicos más empleados son los derivados del 1-alquil-3-metilimidazolio.

- **Electroquímica.** En esta síntesis los ligantes se encuentran disueltos en una solución adecuada con una sal conductora, los iones metálicos se integran continuamente a través de la disolución del ánodo en la mezcla de reacción. El uso de una fuente de corriente estable y constante permite controlar la velocidad de reacción, la concentración, los disolventes y la temperatura controlan la solubilidad de la fase cristalina. Esta metodología permite una síntesis continua (no por lotes) y un método alternativo de síntesis que no requiere una fuente externa adicional de calor.

3. APLICACIÓN DE LOS PCs EN SENSADO

El interés por los PCs ha incrementado a lo largo del tiempo, sobre todo en los últimos años, debido a que estos compuestos presentan una gran variedad de propiedades entre las que destacan: ópticas, eléctricas, magnéticas, catalíticas, entre otras. Algunos PCs pueden presentar más de una de estas propiedades obteniendo un material multifuncional, esto sumado a la diversidad estructural que poseen aumenta sus posibles aplicaciones. Luego entonces los PCs se pueden utilizar en diferentes campos de aplicación, donde destacan la síntesis orgánica (catalizadores), las ciencias ambientales (detección de iones y moléculas, fotocatalizadores en la degradación de moléculas, separación y sorción de gases), la energía (almacenamiento de energía y de H_2) y la medicina (liberación de fármacos) (Liu y col., 2021).

Una de las principales aplicaciones de gran interés para los investigadores es el uso de los PCs en la detección de iones o moléculas. Para poder comprender lo que ocurre específicamente en la detección, primero se tienen que entender sus propiedades ópticas, más específicamente las luminiscentes.

La luminiscencia consiste en la emisión de luz a través de la absorción de energía y dependiendo del tiempo que tarde este proceso se puede clasificar de las siguientes maneras.

- **Fluorescencia:** es la emisión de luz cuando un electrón excitado, en un estado de mayor energía, regresa a su estado fundamental, esto en estados energéticos de la misma multiplicidad, dicho proceso se da de manera instantánea (aproximadamente 10 nanosegundos).

- Fosforescencia: es la emisión de luz en estados energéticos de distinta multiplicidad, donde los procesos de relajación de los electrones tardan más tiempo (de microsegundos hasta segundos).

La luminiscencia en los PCs se puede presentar por distintos mecanismos entre los que destacan:

- Emisión centrada en el metal: depende del tipo de metal o ion metálico utilizado, se basa en las transiciones de electrones entre orbitales d-d, o f-f.
- Emisión centrada en el ligante: es originada por el ligante orgánico sin la participación del átomo central (metal), donde los electrones se transfieren de un orbital $\pi-\pi^*$.
- Transferencia de carga del ligante al metal: este mecanismo de emisión se presenta cuando un electrón del ligante se transfiere al metal y tras la excitación, posteriormente en la relajación el sistema libera energía generando emisión de luz.
- Transferencia de carga del metal al ligante: como su nombre lo indica, la transferencia del electrón va del metal al ligante.
- Transferencia de carga de ligante a ligante: se presenta en los PCs cuando hay dos o más tipos distintos de ligantes, donde el electrón va de un ligante donador rico en electrones a otro aceptor con deficiencia electrónica.
- Transferencia de carga de metal a metal: ocurre por la presencia de dos distintos metales o iones metálicos en un mismo PC, donde la transferencia va de un metal donador a otro aceptor.

El mecanismo de emisión en los PCs se puede variar dependiendo la composición y estructura, incluso la luminiscencia puede ser modificada por la presencia de moléculas que formen parte de la estructura (ocluidas o coordinadas) (Zhao y col., 2025).

La medición de la luminiscencia en los PCs es importante para su uso en la detección de moléculas, ya que algunos PCs luminiscentes tienen la capacidad de detectar la presencia de ciertos analitos (incluso en concentraciones muy pequeñas del orden de partes por millón) como gases, iones, metales y moléculas orgánicas. Este proceso ocurre principalmente por la interacción del analito con el PC, gracias a su estructura y a los componentes de este (iones metálicos y ligantes) que a veces le permite interactuar de manera específica con el analito (quimioselectividad) (Zhang y col., 2015).

La manera en que se puede detectar si existe una interacción entre el PC y el analito es a través de la medición de la luminiscencia, ya que se puede



presentar un cambio alterando la intensidad o duración de la emisión, incluso provocando la eliminación de esta. Teniendo la medida (espectro de emisión) del PC solo y después colocándolo en un medio junto al analito. Otro cambio que se puede presentar es en la absorbancia que incluso es perceptible a simple vista por un cambio en la coloración (Rosales y col., 2021). En ocasiones puede ocurrir una adsorción de la molécula o ion de estudio que es capturada en la estructura porosa de PC y para que después exista una desorción de estas (Figura 6).

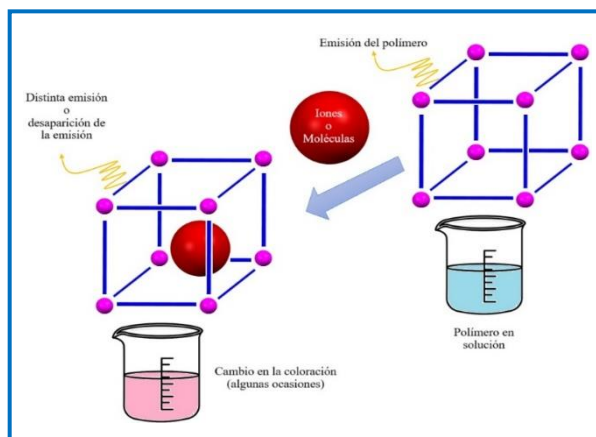


Figura 6. Esquema de la detección de los analitos, por los polímeros de coordinación.

Los PCs luminiscentes se pueden utilizar para detectar contaminantes los cuales pueden ser moléculas, cationes o aniones. A continuación, se muestran algunas aplicaciones más específicas.

- **Detección de contaminantes del agua.** Es un grave problema ambiental que afecta tanto a los ecosistemas acuáticos como a la salud humana, por lo que la detección y eliminación de estos se vuelve un punto clave en la preservación ambiental, los PCs pueden ser usados para este fin en la detección de contaminantes orgánicos (fenoles y colorantes), metales pesados (iones de Pb^{+2} y Hg^{+2}) y aniones (CN^- , NO_2^- y F^-). Un ejemplo de esto se puede observar en un PC formado por Cd, 1,10-fenantrolinea y ácido benceno-1,3,5-tricarboxílico, donde se presenta la detección de cationes Cu^{2+} y Ni^{2+} en un medio acuoso (con límites de detección en 2.78×10^{-8} M para Cu^{2+} y 6.15×10^{-9} M para Ni^{2+}), incluso se usó para la eliminación del diclofenaco como microcontaminante orgánico (Kabak y Kendüzler, 2022). Adicionalmente otro PC ahora de Zn con el 1,4-ciclohexanodicarboxilato y la 4,4'-diterbutil-2,2'-bipiridina ha permitido la detección cuantitativa de aniones CN^- (Rosales y col., 2019).



- Detección de contaminantes en el aire. Gracias a la quema de combustibles fósiles la contaminación del aire se ha incrementado de manera exponencial a lo largo de las décadas, los PCs han sido estudiados para la detección y en algunas ocasiones la captura de moléculas que son consideradas contaminantes como óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de carbono (CO_x) y compuestos orgánicos volátiles (formaldehído, metano, clorofluorocarbonos, etc.). Un PC (1D) de Cu con bencilamina se expone a HCl (gaseoso), sufriendo un cambio de color drástico, generando así la detección de dicha molécula (López-Molino y Amo-Ochoa, 2020). También se ha reportado otro polímero unidimensional de cobre con timina, el cual se ha utilizado como detector (sensor) de humedad ambiental y en detección de agua en solventes orgánicos (Maldonado y col., 2019).

- Detección de contaminantes en alimentos. Es un problema significativo que afecta tanto la seguridad alimentaria como la salud pública, algunos de los contaminantes que han sido detectados con los PCs son pesticidas y micotoxinas. El $[\text{Zn}(\text{DTP})\text{SO}_4(\text{H}_2\text{O})_3]_n$ donde el DTP = 3,5-di(1,2,4-triazol-1-il)piridina es un PC que ha sido estudiado para la detección de pesticidas tales como el imidacloprid (IMI) y metamitron (MMT), este polímero además funcionó en la detección de iones (Fe^{3+} , MnO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) y antibióticos (1,2-dimetil-5-nitroimidazol y sulfametazina) (Yu y col., 2023). Además, se han reportado dos PCs sintetizados con Cd(II), con un ligante derivado del ácido p-terfenil-2,2'',5'',5'''-tetracarboxílico y otros derivados de las piridinas, donde muestran una detección de 112 ppb (partes por billón) del pesticida 2,6-dicloro-4-nitroanilina, incluso presentan selectividad para algunos aniones de Cr(VI) y un antibiótico (nitrofurano) (Fan y col., 2020).

Además, los PCs también han sido utilizados en el monitoreo del suelo, ya que han logrado la detección y cuantificación de los iones amonio (NH_4^+), que son importantes para la disponibilidad de nitrógeno (N_2) en las plantas. Incluso se pueden aplicar como sensores biomédicos para la detección de algunas biomoléculas tales como la glucosa, ADN/RNA y proteínas, contribuyendo así en el diagnóstico de enfermedades y otras aplicaciones (Debsharma y col., 2024).

Los PCs luminiscentes pueden presentar diferentes interacciones con las moléculas o iones contaminantes, debido a esto se obtiene como respuesta una modificación de sus propiedades luminiscentes (aumento, disminución o anulación de la emisión). Luego entonces los PCs luminiscentes pueden ser utilizados en la detección de contaminantes. A continuación, se retoma el PC

$n \{Zn(H_2O)(1,4\text{-chdc})(4,4'\text{-dmb})\}_n$ donde se explica su uso en la detección del anión CN^- por la formación del $Zn(CN)_2$ (Figura 7) (Rosales y col., 2019).

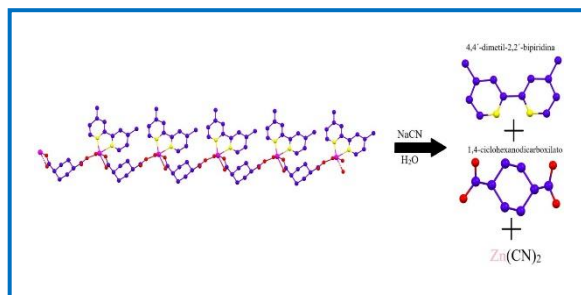


Figura 7. Esquema de la interacción del polímero de Zn (II) $\{Zn(H_2O)(1,4\text{-chdc})(4,4'\text{-dmb})\}_n$ con el cianuro, formando cianuro de zinc.

CONCLUSIONES

La revisión presentada evidencia el notable progreso en el desarrollo de PCs luminiscentes como plataformas versátiles y eficientes para la detección de iones y moléculas contaminantes. La alta sensibilidad, selectividad y capacidad de respuesta de estos materiales, junto con su diseño estructural ajustable, los posiciona como herramientas prometedoras en el monitoreo ambiental y en el control de calidad del agua, aire y alimentos. A pesar de los avances significativos, persisten desafíos importantes relacionados con la estabilidad química, la reproducibilidad sintética y la implementación práctica a gran escala.

El uso de PCs para la detección de iones y moléculas no solo aborda problemas críticos en salud y medio ambiente, sino que también ofrece soluciones innovadoras ya que se pueden detectar, cuantificar (incluso en bajas concentraciones) y algunas veces remover moléculas o iones que se consideren contaminantes, contribuyendo al desarrollo sostenible de los ecosistemas y mejorando la calidad de vida. Algunos de estos PCs son selectivos a cierto tipo de iones lo que no ofrecen otro tipo de técnicas utilizadas con la misma finalidad.

Futuras investigaciones deberán enfocarse en la mejora de los PCs luminiscentes para su aplicación en entornos reales y complejos, usos prolongados y repetidos, así como en la integración de estas plataformas en dispositivos portátiles y tecnologías de detección en tiempo real.

REFERENCIAS

- Behera, N., Duan, J., Jin, W., & Kitagawa, S. (2021). The chemistry and applications of flexible porous coordination polymers. *EnergyChem*, 3(6): 100067. <https://doi.org/10.1016/j.enchem.2021.100067>
- Debsharma, K., Dutta, B., Dey, S., & Sinha, C. (2024). Metal–Organic Coordination Polymers: A Review of Electrochemical Sensing of Environmental Pollutants. *Crystal Growth & Design*, 24(15): 6503–6530. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.4c00421>
- Dzhardimalieva, G. I., & Uflyand, I. E. (2017). Design and synthesis of coordination polymers with chelated units and their application in nanomaterials science. *RSC Advances*, 7(67): 42242–42288. <https://doi.org/10.1039/C7RA05302A>
- Fan, L., Wang, F., Zhao, D., Sun, X., Chen, H., Wang, H., & Zhang, X. (2020). Two cadmium(II) coordination polymers as multi-functional luminescent sensors for the detection of Cr(VI) anions, dichloronitroaniline pesticide, and nitrofurant antibiotic in aqueous media. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 239: 118467. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118467>
- Hasegawa, Y., & Kitagawa, Y. (2022). Luminescent lanthanide coordination polymers with transformative energy transfer processes for physical and chemical sensing applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 51: 100485. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2022.100485>
- He, Y.-C., Wu, S., Zhang, J., Qin, W.-H., Liu, J., Zhao, F.-H., Liu, L., & Jing, Z. (2022). Syntheses, structures, and luminescence properties of five new coordination polymers based on 3-carboxy-1-(3'-carboxybenzyl)-2-oxidopyridinium and neutral ligands. *CrystEngComm*, 24(38): 6715–6723. <https://doi.org/10.1039/D2CE00921H>
- Kabak, B., & Kendüzler, E. (2022). Synthesis, characterization and adsorption/sensing applications of novel cadmium(II) based coordination polymer. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3): 107989. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107989>
- Kuznetsova, A., Matveevskaya, V., Pavlov, D., Yakunenko, A., & Potapov, A. (2020). Coordination Polymers Based on Highly Emissive Ligands: Synthesis and Functional Properties. *Materials*, 13(12): 2699. <https://doi.org/10.3390/ma13122699>
- Lin, Z., Richardson, J. J., Zhou, J., & Caruso, F. (2023). Direct synthesis of amorphous coordination polymers and metal–organic frameworks. *Nature Reviews Chemistry*, 7(4): 273–286. <https://doi.org/10.1038/s41570-023-00474-1>
- Liu, H., Wang, Y., Qin, Z., Liu, D., Xu, H., Dong, H., & Hu, W. (2021). Electrically Conductive Coordination Polymers for Electronic and Optoelectronic Device Applications. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 12(6): 1612–1630. <https://doi.org/10.1021/acs.jpclett.0c02988>

- Liu, J.-Q., Luo, Z.-D., Pan, Y., Kumar Singh, A., Trivedi, M., & Kumar, A. (2020). Recent developments in luminescent coordination polymers: Designing strategies, sensing application and theoretical evidences. *Coordination Chemistry Reviews*, 406: 213145. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2019.213145>
- López-Molino, J., & Amo-Ochoa, P. (2020). Gas Sensors Based on Copper-Containing Metal-Organic Frameworks, Coordination Polymers, and Complexes. *ChemPlusChem*, 85(7): 1564–1579. <https://doi.org/10.1002/cplu.202000428>
- Maldonado, N., Vegas, V. G., Halevi, O., Martínez, J. I., Lee, P. S., Magdassi, S., Wharmby, M. T., Platero-Prats, A. E., Moreno, C., Zamora, F., & Amo-Ochoa, P. (2019). 3D Printing of a Thermo- and Solvatochromic Composite Material Based on a Cu(II)-Thymine Coordination Polymer with Moisture Sensing Capabilities. *Advanced Functional Materials*, 29(15): 8424. <https://doi.org/10.1002/adfm.201808424>
- Muslim, M., Ali, A., Neogi, I., Dege, N., Shahid, M., & Ahmad, M. (2021). Facile synthesis, topological study, and adsorption properties of a novel Co (II)-based coordination polymer for adsorptive removal of methylene blue and methyl orange dyes. *Polyhedron*, 210: 115519. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2021.115519>
- Rosales-Vázquez, L. D., Dorazco-González, A., & Sánchez-Mendieta, V. (2021). Efficient chemosensors for toxic pollutants based on photoluminescent Zn(II) and Cd(II) metal-organic networks. *Dalton Transactions*, 50(13): 4470–4485. <https://doi.org/10.1039/D0DT04403B>
- Rosales-Vázquez, L. D., Valdes-García, J., Bazany-Rodríguez, I. J., Germán-Acacio, J. M., Martínez-Otero, D., Vilchis-Néstor, A. R., Morales-Luckie, R., Sánchez-Mendieta, V., & Dorazco-González, A. (2019). A sensitive photoluminescent chemosensor for cyanide in water based on a zinc coordination polymer bearing ditert-butyl-bipyridine. *Dalton Transactions*, 48(33): 12407–12420. <https://doi.org/10.1039/C9DT01861A>
- Yu, B.-Y., Wang, D., Zhu, G.-S., Wei, C.-J., Jia, Y., Song, C.-L., Cheng, J., & Zhao, H.-Q. (2023). Synthesis, crystal structure of four 1D to 3D coordination polymers as potential sensor for the detection of ions, antibiotics and pesticides in water media. *Polyhedron*, 230: 116242. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2022.116242>
- Zhang, X., Wang, W., Hu, Z., Wang, G., & Uvdal, K. (2015). Coordination polymers for energy transfer: Preparations, properties, sensing applications, and perspectives. *Coordination Chemistry Reviews*, 284: 206–235. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2014.10.006>
- Zhao, Z.-H., Yang, Q.-Y., Xu, X.-R., & Tong, Z.-Y. (2025). Luminescent coordination polymers with d10 metal centres for cation sensing: A review. *Microchemical Journal*, 215: 114096. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.114096>

EL CONCIERTO DIDÁCTICO: ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO DE HABILIDADES PEDAGÓGICO-MUSICALES

THE DIDACTIC CONCERT: STRATEGY FOR DEVELOPMENT OF PEDAGOGICAL-MUSICAL SKILLS

NORMA ESTELA JIMÉNEZ DÍAZ¹

GERARDO MONJARÁS LUNA²

RESUMEN

En general, el proceso de enseñanza-aprendizaje de la música en nuestro país presenta carencias en el ámbito de la pedagogía musical. Se requiere de una formación sólida en los futuros maestros, tanto en conocimientos, habilidades, actitudes y valores, vinculados al ámbito de la educación musical, que les permitan, al egresar de esta carrera, un desempeño laboral enfocado en el desarrollo integral de sus alumnos. Esta investigación es de corte mixto, no experimental y longitudinal. El objetivo es conocer las relaciones entre el concierto didáctico como una estrategia y el desarrollo de habilidades pedagógico-musicales en los alumnos que cursan la Licenciatura en Educación Musical en la Escuela Superior de Música de la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC). Los resultados muestran que la experiencia generada en los estudiantes participantes coadyuva a su perfil: desarrollo de habilidades musicales, ejecución de instrumentos musicales, en la práctica docente, el uso de la tecnología y los valores que, como futuros maestros de música, deben tener para su desempeño en los diferentes niveles educativos.

Palabras clave: concierto didáctico; estrategia; habilidades pedagógico-musicales.

ABSTRACT

The teaching-learning process of music in our country presents shortcomings in the area of music pedagogy. Future teachers require solid training in

1. Facultad de Ciencia, Educación y Humanidades, Unidad Sureste, UAdeC.
2. Escuela Superior de Música, Unidad Sureste, UAdeC

Correspondencia
normajimenez@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9176-6391>

Fecha de recepción
15 de septiembre de 2025.
Fecha de aceptación
19 de agosto de 2025.

knowledge, skills, attitudes, and values related to music education, enabling them, upon graduation, to perform jobs focused on the holistic development of their students. This research is a mixed, non-experimental, and longitudinal project. The objective is to understand the relationships between didactic concert as a strategy and the development of pedagogical-musical skills in students pursuing a bachelor's degree in Music Education at "Escuela Superior de Música de la Universidad Autónoma de Coahuila". The results show that the experience gained by participating students contributes to their profile, including musical skills development, instrument playing, teaching practice, technology use, and the values that future music teachers should possess for performance at different educational levels.

Keywords: didactic concert; strategy; pedagogical-musical skills.

INTRODUCCIÓN

Llevar a cabo el proceso enseñanza-aprendizaje de la música requiere contar por un lado, con conocimientos relacionados con las etapas del desarrollo humano, conocimientos musicales como la teoría de la música y conocer a profundidad los enfoques de pedagogía musical; y por otro, tener habilidades de: lectura a primera vista, ejecución de instrumentos, armonización de melodías, composición de cantos adecuados al rango de voz del alumno, sacar de oído canciones, improvisar, diseñar actividades lúdico-musicales, organizar festivales musicales, entre otros. Además de poseer valores y actitudes implícitas en lo que se realizará. Todo esto se encuentra detrás de la preparación de un concierto didáctico, el cual inicia con una planeación y culmina con la presentación en la que interactúan los músicos con su público.

Durante su formación, los estudiantes de la carrera de Educación Musical deben participar en experiencias que les ayuden a conocer la realidad laboral a la que se enfrentarán; por lo tanto, es responsabilidad de los docentes proporcionarles herramientas para que resuelvan situaciones y enfrenten los problemas con soluciones que impacten los contextos educativos y sociales.

Esta investigación se realizó para conocer la relación que existe entre el concierto didáctico y el desarrollo de habilidades pedagógico-musicales en los estudiantes de la Licenciatura en Educación Musical de la Escuela Superior de



Música de la UAdC. Los resultados muestran que el concierto didáctico puede ser utilizado como estrategia para desarrollar las habilidades pedagógico-musicales en los futuros maestros de música.

El campo laboral del educador musical demanda un perfil con conocimientos, habilidades, actitudes y valores que deberían formarse durante el tiempo en que cursan la carrera; sin embargo, se han observado carencias en aspectos del proceso de preparación de un concierto didáctico. Por lo que para esta investigación se plantea la pregunta: ¿Qué relación existe entre el concierto didáctico como estrategia en el desarrollo de habilidades pedagógico-musicales en los estudiantes de la Licenciatura en Educación Musical de la Escuela Superior de Música de la UAdC?

La mayoría de los maestros de música enseñan como les enseñaron, es decir, repiten el patrón que observaron en sus profesores, por lo que es necesario desarrollar habilidades docentes para llevar a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje de la música. La importancia de este proyecto radica en el hecho de que es una oportunidad basada en los cuatro pilares de la educación dentro del ámbito de la educación musical, para el desarrollo de habilidades pedagógico - musicales que no se incluyen en los contenidos de las materias que cursan los estudiantes de la Licenciatura en Educación Musical de la Escuela Superior de Música de la UAdC. El beneficio social e institucional se encuentra directamente relacionado con los estudiantes de dicha licenciatura con aportaciones que les permitan desarrollar, en un futuro, conciertos y eventos escolares que como maestros de música deberán diseñar en su centro de trabajo. El sustento teórico se encuentra en las investigaciones precedentes y las fuentes consultadas, el cual está relacionado con el tema de investigación.

El estudio realizado se enfoca en conocer la relación que existe entre el concierto didáctico como estrategia y el desarrollo de habilidades pedagógico-musicales. Como parte de estudio se logró: 1) a conocer cuáles son los elementos del concierto didáctico que se relacionan con el desarrollo de las habilidades musicales prácticas; 2) a favorecer el desarrollo de habilidades de planeación de eventos escolares; 3) a mejorar las habilidades de ejecución de instrumentos musicales; 4) a favorecer el uso de estrategias didácticas en educación musical; 5) a diseñar actividades complementarias para la enseñanza de la música; 6) a favorecer las habilidades de liderazgo aplicadas en la planeación, desarrollo y conclusión del concierto didáctico.

CONCEPTOS GENERALES

Estudios de investigadores nacionales e internacionales proponen utilizar el concierto didáctico como una herramienta que contribuya a la formación de los futuros maestros de música (Neuman, 2004). El autor describe la experiencia de los profesores de educación musical al participar en orquestas que ofrecen conciertos didácticos a niños y jóvenes de escuelas, así como el valor que le dan a estos eventos, los cuales han tenido mayor participación y la inclusión de contenidos relacionados con este tema. Los resultados muestran cambios significativos en la práctica docente y en el aprendizaje de los alumnos, además del incremento en la asistencia (pp. 1-11).

Contreras (2024), en *Creatividad e Innovación: el auge de los conciertos didácticos. Una perspectiva educativa*, menciona que estos eventos se están incrementando en el ámbito educativo, pues representan un contexto pedagógico y sociocultural en el que se transmite contenido musical, valores, actitudes y creencias. Añade que, desde la planeación del concierto, debería considerarse cambiar las formas de transmisión del conocimiento e innovar.

En la investigación *Conciertos didácticos a Escuelas de Formación Musical de Buesaco y Arboleda Nariño con el Cuarteto de Saxofones Newton* (2021), Burbano y Arango, afirman que “los conciertos didácticos son una herramienta de encuentro social y cultural, donde se ejecutan diferentes obras para generar en el oyente interés, motivación, curiosidad por la música, por los compositores, ritmos e instrumentos”. Además, permite un desarrollo en las personas y una conexión con el arte que se transmitirá a las generaciones futuras.

En el estudio titulado *El concierto didáctico como estrategia de enseñanza-aprendizaje de géneros tradicionales del Ecuador*, Ortega (2019) presenta la propuesta fundamentada en las experiencias personales, entrevistas a directivos, docentes y estudiantes. Sugiere una clasificación de conciertos didácticos, una planeación que incluye la elección del tema y del repertorio, la escenografía, la coreografía y los recursos necesarios. Se motiva a los docentes para que realicen este tipo de evento con el fin de desarrollar la creatividad y la apreciación de temas musicales a través de las vivencias.

Por otro lado, el investigador López (2018), en *El experimento 44: el concierto didáctico en Educación Secundaria*, utiliza esta actividad musical vinculada al teatro para romper con los esquemas academicistas de las instituciones

formadoras de maestros de música con el propósito de involucrar a los estudiantes en experiencias significativas. Primero se inicia con el aspecto teórico y después se concreta en la práctica a través de la escucha activa y la ejecución de instrumentos, movimiento y danza.

En la tesis doctoral *El concierto didáctico en educación secundaria a través del aprendizaje cooperativo*, Gil (2020) presenta los resultados de su investigación-acción. Se llevó a cabo para mejorar la práctica docente de la clase de música, durante el tiempo libre de los estudiantes de secundaria y con apoyo de estudiantes de educación primaria. El objetivo es “la interpretación y creación cooperativa y la mejora de competencias clave, a través de la práctica instrumental y coral”. Los resultados muestran los avances de manera integral en las áreas mencionadas.

De acuerdo con Neuman (2004) “la práctica musical es esencial para una buena formación musical del profesorado, entendida como la participación activa en las acciones propias de la percepción y la expresión musical, tales como escuchar, cantar, tocar instrumentos o crear música”. También añade que “los conciertos didácticos permiten comprender y apreciar de una manera directa y motivadora los contenidos que se tratan en las clases de música y parecen ser el modo más idóneo para desarrollar una audición musical activa y comprensiva en la que los alumnos puedan entender lo que sucede dentro del discurso musical de una manera más consciente y profunda” (pp. 3-6).

Por su parte, Ortega (2009) expresa, además, de manera clara que un concierto didáctico no es un espectáculo donde los músicos demuestran sus habilidades musicales a un público más o menos inexperto, sin tomar en cuenta a quién va dirigido, sin planteamientos pedagógicos que terminan por desmotivar a los alumnos. La autora menciona que tampoco es una oportunidad de presentar un repertorio que ya se tiene o que se ensaya de último momento, improvisando. Mucho menos es una clase con ilustraciones musicales en vivo, mucha música y poco texto o viceversa. Debe existir una justificación en torno a la selección del repertorio, tomando en cuenta la edad o el nivel educativo en el que se presentará. “Un concierto didáctico tendría que ser siempre una experiencia gratificante y educativa”. Más adelante, esta investigadora presenta los elementos mínimos que debe tomar en cuenta el concierto didáctico. Entre ellos, un guion previo; calidad musical interpretativa y performativa de la agrupación; presentación al comienzo y entre intervenciones musicales; una planeación de la sesión con un antes y un

después; materiales didácticos de apoyo; participación de los asistentes; y la duración de la presentación (pp. 47-48).

El concierto didáctico es una experiencia a través de la cual los estudiantes pueden desarrollar sus habilidades como futuros maestros y, además, aprender cómo planear este tipo de eventos que serán parte de su desempeño laboral escolar. En el proceso de planeación se involucran aspectos como la gestión de permisos y vinculaciones con instituciones educativas; la elección de un tema del concierto; la selección de repertorio adecuado a los participantes y a las características del público; la búsqueda de información sobre los cantos seleccionados; la realización de adecuaciones a las necesidades escolares, la calendarización de actividades y ensayos que se llevarán a cabo durante la preparación del concierto; el seguimiento de avances y la retroalimentación durante los ensayos; llevar a cabo ensayos individuales y grupales; llevar una bitácora de logística de la presentación pública; elaborar una lista de necesidades técnicas para el concierto; saber administrar los recursos humanos y materiales; delegar responsabilidades; elaborar un programa del concierto; realizar las acciones necesarias para la difusión del evento. Por otro lado, dentro de las habilidades pedagógico-musicales se pueden mencionar las siguientes: sacar canciones de oído; armonizar melodías; desarrollar la lectura a primera vista; improvisar; componer canciones; ejecutar instrumentos musicales: piano, guitarra, acordeón, ukulele, flauta dulce, bajo, percusiones, instrumentos Orff; aplicar estrategias de control grupal; dirección de grupos musicales; diseñar actividades musicales sobre temas diversos; uso de software para edición de videos y de edición musical; uso de herramientas tecnológicas; desarrollo de valores como la colaboración, responsabilidad, compromiso, tolerancia y respeto.

A este respecto, Nahual (s.f.), propone siete competencias clave de los conciertos didácticos:

1) Competencia en comunicación lingüística. Se puede trabajar el vocabulario, la entonación, la fonética y los acentos a través de canciones. Utilizar canciones de otras culturas para ampliar el registro sonoro del lenguaje. El alumno aprende a expresar las emociones que sintió durante el concierto.

2) Competencia matemática. La música y las matemáticas comparten modos de representación y pensamiento lógico y espacial. Las audiciones



musicales trabajan el ritmo, secuencias, seriación, estructuración, repetición y alternancia (vocal, instrumental o de movimiento).

3) Competencia digital. El uso de la tecnología da acceso a recursos didácticos que contextualizan la experiencia.

4) Competencia social y cívica. El concierto didáctico se realiza en grupo, lo cual desarrolla el valor de la implicación, el compromiso y el respeto hacia el artista, la opinión, el turno, las culturas y fomenta la paz.

5) Competencia artística. Capacidad de apreciar, comprender y valorar diferentes manifestaciones culturales y musicales, a través de experiencias perceptivas y expresivas (LOMCE).

6) Competencia para aprender a aprender. Permite al alumno elaborar las respuestas a las preguntas que se formulan. Además del aprendizaje del repertorio o tema musical que se presentará durante la audición, ayuda en la búsqueda y el uso de recursos educativos.

7) Competencia de iniciativa y espíritu emprendedor. El aprendizaje de aprovechar la oportunidad de participar en este tipo de actividades complementarias, visitar un espacio escénico e interpretar grupalmente un instrumento o un canto, lo cual constituye una forma de disfrutar dicho aprendizaje y la cohesión grupal.

El autor concluye diciendo que “los conciertos didácticos se plantean como un recurso educativo de extraordinario valor a la hora de planificar la programación didáctica, ya que promueven el desarrollo de las siete competencias básicas (párr. 5-6)”.

METODOLOGÍA

Es una investigación con enfoque mixto; el diseño de la investigación es no experimental y longitudinal. La población es de 26 estudiantes de la Licenciatura en Educación Musical y la muestra se integró por 23 alumnos de diferentes semestres de la carrera, quienes participaron cantando y/o ejecutando diferentes instrumentos musicales. Los ensayos se iniciaron de manera presencial; sin embargo, por la pandemia del COVID-19 se continuaron individualmente con sesiones en línea en el grupo del Taller de Pedagogía Musical, en la plataforma TEAMS. Primero se llevó a cabo una reunión con los alumnos participantes para seleccionar los cantos de la lírica

infantil de México e integrar el repertorio. Se eligieron cinco cantos del álbum *Ritmos y Rondas Infantiles Volumen 1* (Clase 10, 2020): *Naranja dulce*, *Acitrón*, *Tortillitas de manteca*, *A la víbora de la mar* y *El patio de mi casa*. Se decidió que para el semestre enero-junio de 2020 solamente se ensayarían las primeras tres canciones. Y para el semestre enero-junio 2021, las otras dos.

Se designaron responsabilidades: llevar a cabo los arreglos musicales, quienes participarían en la voz y en la ejecución de instrumentos musicales. Se llevaron a cabo ensayos semanales. Una vez que estuvo listo el repertorio, cada participante grabó el video correspondiente y las pistas, los cuales se enviaron a la directora del Taller para su edición, un total de 3 videos. Para el proyecto final, se grabaron los otros 2 videos, siguiendo el mismo proceso anterior para su edición y preparación del Concierto Didáctico, en las redes sociales de la Escuela Superior de Música de la Universidad Autónoma de Coahuila. Finalmente, para el enfoque cuantitativo, se diseñó un cuestionario, el cual se aplicó de manera virtual, para conocer la relación del concierto didáctico como estrategia pedagógica en el desarrollo de habilidades pedagógico-musicales de los alumnos participantes.

Este cuestionario se integró por 12 variables para caracterizar a la muestra; dos variables complejas: concierto didáctico y habilidades pedagógicas – musicales. En la variable concierto didáctico se agruparon veinte variables simples pertenecientes a gestión, planeación, repertorio, ensayo y logística. En la variable habilidades pedagógico-musicales, se integraron veinte variables simples, agrupadas en habilidades musicales, ejecución instrumental, práctica docente, tecnología y valores. Para el análisis de resultados se emplearon niveles de estadística descriptiva y análisis de correlación para encontrar las relaciones entre las variables utilizadas en este estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A la sesión inicial asistieron 23 estudiantes de la Licenciatura en Educación musical, que decidieron participar en el concierto didáctico con repertorio de la lírica infantil de México. Se seleccionó el repertorio; se tuvieron ensayos presenciales cada semana hasta marzo de 2020. Durante la pandemia, las

sesiones fueron en línea para terminar en junio de 2021. Se asignaron las partituras con los arreglos musicales correspondientes para la grabación individual y la edición del video final, las cuales se compartieron en redes sociales.

En la Figura 1, *Video de Naranja Dulce*, se muestra a los estudiantes que presentaron el arreglo musical disco de este canto. En la Figura 2, *Tortillitas de manteca*, se observa el arreglo musical norteño en el que los estudiantes participaron. Y en la Figura 3, *La víbora de la mar*, se muestra la presentación del canto con arreglo de música pop como propuesta innovadora. En las tres figuras se observa que algunos estudiantes acompañan el canto con guitarra, piano, acordeón, bajo y batería. Además, los alumnos utilizaron decoraciones adecuadas al canto correspondiente.

Posteriormente, una vez aplicado el cuestionario, se procedió a recabar la información para su procesamiento estadístico. Se obtuvieron los siguientes resultados.

De los 23 estudiantes de la Licenciatura en Educación Musical, ocho de primer semestre, seis de tercero, cinco de quinto y cuatro de noveno; ocho son del sexo femenino y quince del masculino. La edad oscila de los 17 a los 34 años; solamente nueve trabajan como maestros de música.

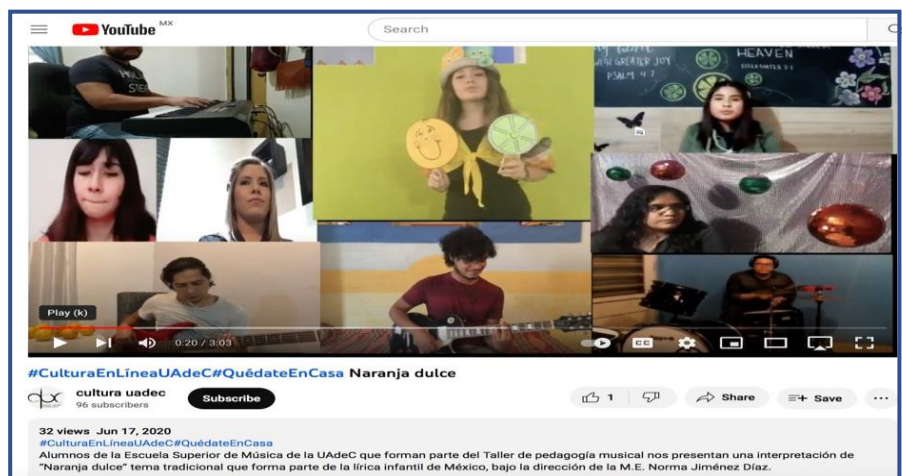


Figura 1. Evidencia fotográfica de *Video de Naranja dulce*.



Figura 2. Evidencia fotográfica de de *Tortillitas de manteca*.



Figura 3. Evidencia fotográfica de Video de *La víbora de la mar*

En la Figura 4 *Instrumentos que tocan*, se observa que catorce tocan el piano, trece la guitarra, uno el acordeón, cuatro el bajo, uno el saxofón, dos la tuba, siete el ukulele, dos el trombón, cuatro la batería y cinco la flauta dulce.

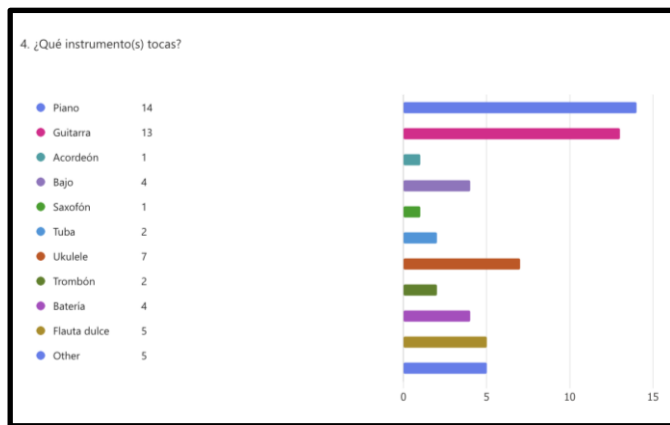


Figura 4. Instrumentos que tocas.

La Tabla 1 muestra que la mayoría de los estudiantes imparte clases particulares de música y los demás laboran en dos lugares diferentes, siendo estos escuelas públicas y particulares, academias y grupos musicales.

Tabla 1. Resultados de encuesta *Dónde trabajas.*

Trabajo	Estudiantes
Clases particulares y Academia	1
Escuela particular y Academia	1
Escuela pública y clases particulares	1
Clases particulares	5
Clases particulares y grupo musical	1

Entre las actividades que realizan en sus clases, mencionan que incluyen lenguaje musical con juegos, colores, entonación de escalas con algunas letras diversas, apreciación con comics u obras de teatro, clases de piano, aprendizaje de notas, su duración, compases, lectura de clave de sol y fa, formación de acordes, enseñanza de canciones cada mes con interacciones dinámicas, canciones populares, ejercicios preparatorios con percusiones corporales, técnica del instrumento y juegos con ritmo.

Sobre la participación en conciertos didácticos, nueve no han tenido la oportunidad de hacerlo y catorce ya han participado. Mencionan que su experiencia fue divertida, aprendieron mucho de cómo ser parte de este tipo de colaboraciones, es un trabajo que requiere mucho tiempo y dedicación; aprendieron a convivir con otras personas; fue una gran experiencia porque nunca habían trabajado con niños; fue un proyecto escolar en el que

prepararon varios cantos y dinámicas; es muy padre convivir con niños y que participen; es muy agradable porque los niños realizan los ensayos con mucho entusiasmo; muy divertido tocar instrumentos Orff con los niños; buena experiencia que ayuda a brindar acercamiento de la música a los niños, así como también ver parte de la organización y preparación que se lleva a cabo en este tipo de conciertos; es diferente porque todos participan y no solo están escuchando lo que tocan los músicos; muy interesante y sobre todo bien divertido. Y respecto a la organización de conciertos didácticos, solamente dos lo han realizado.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Se realizó un análisis de correlación entre las veinte variables simples de la variable compleja concierto didáctico y las veinte variables simples de la variable compleja habilidades pedagógicas-musicales. Se utilizó el coeficiente de Pearson con un $r = 0.41$ (obtenido de la calculadora de probabilidad estadística) y un $P = 0.05$.

En la Tabla 2, Correlación de concierto didáctico y habilidades pedagógico-musicales, se muestran los resultados obtenidos del análisis realizado.

Tabla 2. Correlación de concierto didáctico y habilidades pedagógico-musicales

	sacan oid	armon mel	lectp rvi	impro vis	compc anc	tocap erc	tocoti ns	estrat cg	dirgr mus
Vinceseb									0.74
Adeneces				0.50					0.83
caracpub			0.56	0.56			0.48		0.51
gestperm									0.50
elcalact				0.52					0.77
elcalens									0.68
asigresp	0.41					0.41			0.55
seguuens			0.42					0.43	0.50
retropr		0.48	0.64	0.53		0.47	0.53		0.74
seltemco		0.51	0.45	0.59					0.58
inforepe		0.45	0.48						
ensayind	0.53	0.49		0.47				0.51	
ensamvoc			0.52	0.46					0.66
bitalogi		0.53	0.67		0.46	0.45	0.58	0.57	0.62
lisnecte		0.40							0.62
admrecma		0.45							0.55
elabprog								0.43	0.53
difusión			0.49	0.43		0.46			0.82

Nota: Acrónimos verticales: Vinceseb = vinculación con escuelas de educación básica; adeneces = adecuación a necesidades escolares; caracpub = características del público; gestperm = gestionar



permisos; elcalact = elaborar calendario de actividades; elcalens = elaborar calendario de ensayos; asigresp = asignar responsabilidades; seguiens = seguimiento de los ensayos; retropr = retroalimentación del proceso; seltemco = selección del tema general del concierto; inforepe = buscar información sobre el repertorio; ensayind = ensayos individuales; ensamvoc = ensamble de voces; bitalogi = llevar bitácora de logística; lisnecte = lista de necesidades técnicas; admrecma = administrar recursos materiales; elabprog = elaborar programa del concierto; Acrónimos horizontales: sacanoid = sacar canciones de oído; armonmel = armonizar melodías; lectprvi = lectura a primera vista; improvis = improvisación; compcanc = componer canciones; tocaperc = tocar instrumentos de percusión; tocotins = tocar otros instrumentos; estratcg = aplicar estrategias de control de grupo; dirgrmus = dirección de grupos musicales.

En la Tabla 3, *Continuación de la correlación de concierto didáctico y habilidades pedagógico-musicales*, se muestran los resultados obtenidos del análisis realizado.

Tabla 3. *Continuación de la correlación de concierto didáctico y habilidades pedagógico-musicales.*

	disact mu	orgfes mu	usofe dvi	usofed mu	usohe rte	respo nsa	colabo ra	tolera nc	respe to
Vinceseb						0.78	0.50	0.59	0.63
Adeneces	0.53					0.83		0.81	0.76
caracpub	0.62	0.47	0.52	0.55		0.45			
gestperm						0.62	0.55	0.45	0.44
elcalact	0.56					0.77	0.52	0.78	0.73
elcalens						0.81	0.70	0.58	0.48
asigresp						0.55	0.58	0.50	
seguens						0.54		0.42	0.53
retropr	0.79	0.66	0.43	0.42		0.61		0.76	0.44
seltemco	0.53					0.46		0.52	0.45
ensamvoc	0.52					0.66		0.75	0.50
bitalogi	0.65	0.55		0.52	0.61	0.55		0.62	0.49
lisnecte	0.45					0.74	0.80	0.65	0.43
admrecma						0.61	0.44	0.44	
elabprog						0.62	0.61		
difusión	0.58					0.79		0.93	0.61

Nota: Acrónimos verticales: Vinceseb = vinculación con escuelas de educación básica; adeneces = adecuación a necesidades escolares; caracpub = características del público; gestperm = gestionar permisos; elcalact = elaborar calendario de actividades; elcalens = elaborar calendario de ensayos; asigresp = asignar responsabilidades; seguiens =

seguimiento de los ensayos; retropr = retroalimentación del proceso; seltemco = selección del tema general del concierto; ensamvoc = ensamble de voces; bitalogi = llevar bitácora de logística; lisnecte = lista de necesidades técnicas; admrecma = administrar recursos materiales; elabprog = elaborar programa del concierto. Acrónimos horizontales: disactmu = diseño de actividades musicales; orgfesmu = organización de festivales musicales; usofedvi = uso de software de edición de video; usofedmu = uso de software de edición musical; usoherte = uso de herramientas tecnológicas; responsa = responsabilidad; colabora = colaboración; toleranc = tolerancia. Fuente: Propia.

De las correlaciones obtenidas, se infiere que, a mayor participación de los estudiantes de la carrera de educación musical en el concierto didáctico, que incluye actividades de gestión, planeación, selección de repertorio, ensayos y logística, mayor será el desarrollo de habilidades pedagógico-musicales, entre ellas, habilidades musicales, ejecución de instrumentos, práctica docente, uso de tecnología y valores.

Los resultados de esta investigación, en los que se observa la relación entre la participación de los alumnos que cursan la Licenciatura en educación musical y el desarrollo de habilidades pedagógico-musicales, se observa concordancia con Neuman (2004, p. 6), quien afirma que “la práctica musical es esencial para una buena formación musical del profesorado, entendida como la participación activa en las acciones propias de la percepción y la expresión musical, tales como escuchar, cantar, tocar instrumentos o crear música”. También se encontró relación entre estos resultados y lo que Nahual (s.f.) dice acerca de las competencias que se desarrollan mediante la participación en el concierto didáctico: “los conciertos didácticos se plantean como un recurso educativo de extraordinario valor a la hora de planificar la programación didáctica, ya que promueven el desarrollo de las siete competencias básicas” (párr. 6).

Y respecto a las variables utilizadas sobre el proceso del concierto didáctico, la gestión, la planeación el repertorio, los ensayos y la logística, se relacionan con el desarrollo de habilidades musicales, ejecución de instrumentos, práctica docente, uso de tecnología y valores, los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con lo que Ortega (2009, pp. 47-48) presenta como los elementos mínimos que debe tener el concierto didáctico: un guion previo; calidad musical interpretativa y performativa de la agrupación; presentación al comienzo y entre intervenciones musicales; una planeación de la sesión con un antes y un después; materiales didácticos de apoyo; participación de los asistentes; y la duración de la presentación.



CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación y con los objetivos planteados, a continuación, se presentan las siguientes conclusiones.

GESTIÓN Y HABILIDADES PEDAGÓGICO – MUSICALES

La participación en actividades de vinculación con escuelas de educación básica y la gestión de permisos ante las instancias correspondientes desarrollan la habilidad de dirección de grupos musicales. La realización de adecuaciones a las necesidades escolares favorece el desarrollo de las habilidades de improvisación y de la práctica docente a través del diseño de actividades musicales. Tomar en cuenta las características del público a quien va dirigido el concierto didáctico incrementa las habilidades de lectura a primera vista e improvisación.

PLANEACIÓN Y HABILIDADES PEDAGÓGICO-MUSICALES

Elaborar un calendario de actividades y ensayos permite que la habilidad de improvisación se realice de manera adecuada dentro de la práctica docente al diseñar las actividades musicales. La asignación de responsabilidades repercute en el desarrollo de habilidades musicales, como sacar de oído canciones y ejecutar instrumentos de percusión. El seguimiento de los ensayos tiene relación con la lectura a primera vista, la aplicación de estrategias de control de grupo y la dirección de grupos musicales.

La retroalimentación del proceso del concierto didáctico incrementa la presencia de las habilidades musicales de armonizar melodías, lectura a primera vista, ejecución de instrumentos musicales de percusión y otros instrumentos. Además, se favorece el diseño de actividades musicales, la organización de festivales y el uso de la tecnología para la edición de videos.

REPERTORIO Y HABILIDADES PEDAGÓGICO – MUSICALES:

Seleccionar el tema general del concierto y la búsqueda de información relacionada con el repertorio seleccionado favorecen la armonización de melodías, la lectura a primera vista y la improvisación.

ENSAYOS Y HABILIDADES PEDAGÓGICO – MUSICALES

La realización de ensayos individuales incrementa las habilidades de sacar de oído canciones, armonizar melodías e improvisar. Y los ensambles de voces impactan en el desarrollo de lectura a primera vista.

LOGÍSTICA Y HABILIDADES PEDAGÓGICO – MUSICALES

Llevar una bitácora de la logística del concierto permite tener un control de lo que se va realizando y coadyuva al desarrollo de habilidades musicales de armonización de melodías, lectura a primera vista y composición de canciones, además de la ejecución de instrumentos de percusión y la toma de otros instrumentos musicales. En la práctica docente, ayuda en la aplicación de estrategias de control de grupo, en la dirección de grupos musicales, en el diseño de actividades musicales y en la organización de festivales musicales. También está presente el uso de la tecnología a través del uso de software para la edición de videos y software de edición musical.

Elaborar una lista de necesidades técnicas, administrar los recursos materiales y elaborar un programa del concierto, desarrolla la habilidad de dirigir grupos musicales. Las acciones para la difusión del concierto didáctico intervienen en la formación de habilidades musicales, de la ejecución de instrumentos, de la práctica docente y de los valores. Las experiencias vivenciales a través del concierto didáctico favorecen el desarrollo de habilidades musicales, la ejecución de instrumentos, la práctica docente, el uso de tecnología y los valores de colaboración, responsabilidad, respeto y tolerancia.

REFERENCIAS

- Burbano, D. y Arango, J. (2021). Conciertos didácticos a Escuelas de Formación Musical de Buesaco y Arboleda Nariño con el Cuarteto de Saxofones Newton. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/0ea808f9-ac06-4933-a24c-75945f31e4b1/content>
- Capel, M. y Morant, R. (2019). Características organizativas y didácticas del concierto didáctico. Un estudio de caso sobre la coordinación entre profesorado de Música de Educación Primaria y Secundaria en la ciudad de Manises. *Revista electrónica LEEME*. <https://turia.uv.es/index.php/LEEME/article/view/15868>
- Clase 10. (2020). Ritmos y rondas infantiles Vol. 1. Editorial MD.
- Contreras, P. (2024). Creatividad e innovación: el auge de los conciertos didácticos. Una perspectiva educativa. *Conocimiento compartido y educación*. Dykinson eBook. https://www.researchgate.net/publication/378366619_Creatividad_e_Innovacion_el_auge_de_los_conciertos_didacticos_Una_perspectiva_educativa
- Galera, M., Gutiérrez, R. y Pacheco, A. *Los conciertos didácticos en el entorno universitario: el caso de los alumnos de maestro en educación musical*. Revista Anual I Jornadas sobre Conciertos Didácticos. No. 4, Año 2009. Granada: Junta de Andalucía.
- Gil, C. (2015). *Los conciertos didácticos: Una propuesta a partir del Carnaval op.9 de R. Schumann*. Facultad de Educación-Universidad de Zaragoza.
- Gil, J. (2020). *El concierto didáctico en educación secundaria a través del aprendizaje cooperativo*. [Tesis de Doctorado, Universitat de València]. <https://roderic.uv.es/bitstreams/50b820d4-77de-4dba-8aa6-d1a6bf96328a/download>
- López, F. (2018). *El experimento 44: el concierto didáctico en Educación Secundaria*. Arte y Movimiento, 18 (enero): 69-82. Universidad de Jaén. ISSN: 1989-9548
- Nahual, P. (s.f.). Las 7 competencias clave en los conciertos didácticos. *Pablo Nahual Blog*. <https://www.pablonahual.com/competencias-clave-conciertos-didacticos/>
- Neuman, V. (2004). La formación del profesorado y los conciertos didácticos. *Revista de Currículum y Formación de Profesorado*. 8(1): 1-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56780106>
- Ortega, G. (2019). *El concierto didáctico como estrategia de enseñanza – aprendizaje de géneros tradicionales del Ecuador*. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Ortega, M. (2009). ¿Qué es un concierto didáctico? Revista Anual I Jornadas sobre Conciertos Didácticos. No. 4, Año 2009. Granada: Junta de Andalucía.

COMPRENDIENDO LOS ARMÓNICOS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

UNDERSTANDING HARMONICS IN POWER ELECTRICAL SYSTEMS

OBED RAMÍREZ GÓMEZ

FELIPE ALBERTO MACHORRO
FERNÁNDEZ

ARTURO GERARDO GUERRERO
MARTÍNEZ

JESÚS GUERRERO CONTRERAS

RESUMEN

La mayoría de los sistemas electrónicos (como computadoras, televisores, teléfonos celulares, entre otros) dependen de uno de los sistemas eléctricos más simples y subestimados: el rectificador. Este componente, que ha permanecido casi sin cambios ni actualizaciones durante mucho tiempo, sigue enseñándose de manera tradicional en muchas facultades de ingeniería. Sin embargo, es posible ahondar en su comprensión usando nuevas herramientas pedagógicas. Este artículo explora el comportamiento de los circuitos rectificadores mediante herramientas matemáticas y MATLAB®. A través de este enfoque se calculan las series de Fourier para cada tipo de circuito, lo que permite obtener una visión clara de cómo se distorsionan las señales. Además, se calcula teóricamente el índice de distorsión armónica (THD), para luego comparar los resultados con los obtenidos en experimentos realizados con el analizador de energías FLUKE 1773, revelando las diferencias y confirmando las predicciones.

Palabras clave: distorsión armónica; componente fundamental; series de Fourier rectificadores.

Instituto Tecnológico de Saltillo.

ABSTRACT

Most electronic systems (such as computers, televisions, and cell phones, among others) rely on one of the simplest and most underestimated electrical systems: the rectifier. This component, which has remained nearly unchanged for a long time, is still traditionally taught in many engineering schools. However, it is possible to deepen understanding using novel pedagogical tools. This article explores the behavior of rectifier circuits using mathematical tools

Correspondencia
jesus.gc@saltillo.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0003-4632-7677>
Fecha de recepción
21 de mayo de 2025.
Fecha de aceptación
22 de octubre de 2025.

and MATLAB. Using this approach, Fourier series are computed for each circuit type, providing a clear view of how signals are distorted. In addition, the Total Harmonic Distortion (THD) index is theoretically calculated and then compared with the results obtained from experiments conducted with the FLUKE 1773 energy analyzer, revealing differences and confirming predictions.

Keywords: harmonic distortion; fundamental component; Fourier series rectifiers.

I. INTRODUCCIÓN

Para comprender el funcionamiento de un sistema eléctrico de potencia (EPS) real, es importante tener en cuenta que la forma de onda del voltaje nunca será exactamente una onda sinusoidal con una frecuencia constante. Cuando una forma de onda es periódica (o se trata como tal), puede describirse matemáticamente como una suma de ondas sinusoidales, cuyas frecuencias son múltiplos de la frecuencia fundamental (60 Hz, en el caso de México). Las componentes de frecuencia no fundamental son conocidas como distorsiones armónicas (Cecchi y col., 2009).

En la Figura 1, se observa el comportamiento de la señal fundamental (línea azul continua) y la señal real (línea negra punteada). Por otro lado, se aprecian las componentes armónicas (líneas rojas y verdes continuas). La señal real o "distorsionada" resulta de la suma de la componente fundamental y sus armónicas, que contribuyen a la distorsión de la señal. Las armónicas son voltajes o corrientes sinusoidales con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la que está diseñado el sistema eléctrico de potencia para su operación (llamada frecuencia fundamental). La frecuencia de un voltaje armónico es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental. Por ejemplo, en un sistema de 60 Hz, la segunda armónica será de 120 Hz, la tercera de 180 Hz, y así sucesivamente (Luszcz, 2013).

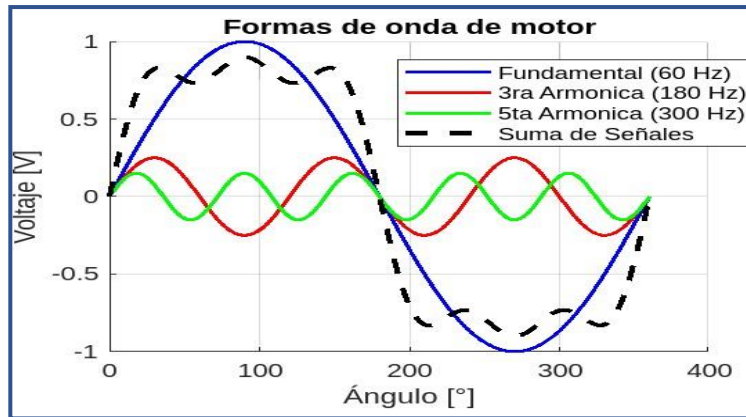


Figura 1. Señal sinusoidal pura (60 Hz, en azul), componentes armónicas (180 Hz y 300 Hz, en rojo y verde) y señal real distorsionada con tercera y quinta armónica.

Existen varias contribuciones a la distorsión armónica del voltaje. Las principales son:

a) Desviaciones en la forma real del generador de energía, como variaciones en la construcción física, los bobinados y las ranuras en el estator, que causan que la forma de onda del voltaje generado no sea exactamente sinusoidal (Shibuya y col., 2015).

b) El sistema de potencia no es completamente lineal, aunque la desviación pueda ser pequeña. Algunos componentes del sistema extraen una corriente no sinusoidal, incluso cuando el voltaje es sinusoidal. Un ejemplo de esto es el transformador, cuya no linealidad se debe a la saturación del flujo magnético en el núcleo de hierro (ciclo de histéresis) (Greene & Gross, 1988).

c) El uso creciente de la electrónica de potencia, con cargas alimentadas a través de convertidores de energía, que demandan una corriente no sinusoidal (Mohammed & Jung, 2021).

La presencia de corrientes armónicas constituye uno de los problemas más frecuentes en la calidad de la energía eléctrica. También existen los interarmónicos, que por definición son múltiplos no enteros de la frecuencia fundamental, y los subarmónicos, que son frecuencias mayores que cero, pero menores que la fundamental. Varios estudios demuestran que estos últimos se generan por tormentas solares que, al llegar a la Tierra, inducen electromagnéticamente corrientes en transformadores, las cuales luego se transmiten a las líneas de transmisión de energía eléctrica (Rastogi, 2004).

1.1 SERIE DE FOURIER Y COEFICIENTES

Para comenzar el análisis de señales, es necesario tener en cuenta el concepto de las series de Fourier. Las series de Fourier establecen que cualquier señal periódica puede representarse como la suma de una componente continua y funciones seno y coseno, como se expresa en la siguiente ecuación (Jenkins, 2017):

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)]$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

Los coeficientes de la serie de Fourier se determinan a partir de:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega_0 t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega_0 t) dt$$

La componente sinusoidal de frecuencia $\omega_n = n\omega_0$ se denomina la n -ésima armónica de la función periódica. La primera armónica comúnmente se conoce como componente fundamental, porque tiene el mismo período que la función:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f_0$$

El espectro de frecuencia-amplitud de una señal consiste en las gráficas de las amplitudes y de las fases de sus armónicas, en comparación con la frecuencia.

Con el marco teórico anterior, en este trabajo se desarrolló una rutina en la plataforma de programación MATLAB® (Moler, 2024), con la finalidad de obtener las series de Fourier para cada de estudio.



II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DEFINICIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

La metodología que se llevó a cabo fue la implementación real de los circuitos rectificadores de la marca DE LORENZO ®. Después, con el software MATLAB ®, se obtuvieron las series de Fourier correspondientes a cada caso, para proceder con la comparación teórica y práctica.

El equipo de medición utilizado es un analizador de energías trifásico, marca FLUKE. Este instrumento cuenta con una función para la medición de: fasorímetro, osciloscopio, transitorios y armónicos.

Este artículo se centra en el estudio de armónicos provocados por la electrónica de potencia en el uso de circuitos rectificadores, así como en el caso de un inversor de energía eléctrica, siendo utilizados para la alimentación de motores de inducción trifásicos. En un estudio posterior se analizará el caso de los subarmónicos e interarmónicos.

Los casos de estudio se enlistan a continuación:

1. Forma de onda sinusoidal.
2. Circuito rectificador de media onda no controlado.
3. Circuito rectificador de onda completa no controlado.
4. Circuito rectificador de media onda controlado.
5. Circuito inversor conectado a un motor de inducción.

Al estudiar armónicos, indiscutiblemente se debe hablar de su afectación al sistema eléctrico de potencia, por lo cual, para cada caso de estudio, se obtiene la serie de Fourier con 30 componentes y también se determina el valor del índice de la THD. El cual se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{k_{max}} V_k^2}}{V_1} \cdot 100\%$$

Donde:

THD es el valor del índice de la distorsión armónica total.

Subíndice k , corresponde a cada armónico de la fundamental.

V_k^2 es la componente del armónico de la señal bajo estudio.

V_1 es la componente fundamental de la señal bajo estudio.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CASO 1 FORMA DE ONDA SINUSOIDAL

Este caso representa la forma de onda del suministro de energía eléctrica, con su componente fundamental a 60 Hz. Al no existir componentes adicionales que alteren la señal, únicamente debe aparecer en la serie de Fourier la forma de onda sinusoidal y su respectiva amplitud. El resultado de la simulación en MATLAB® se muestra en la Figura 2a-b.

En la Figura 2a, se aprecia la señal fundamental recibida del suministro de corriente alterna proveniente de la CFE. Dado que esta señal es idealizada como "pura", no se observan interferencias ni la presencia de armónicos. Esto indica que la señal mantiene una forma de onda sinusoidal perfecta, sin distorsiones adicionales ni contribuciones de frecuencias no deseadas. Sin embargo, en la práctica, el suministro real puede presentar pequeñas fluctuaciones o distorsiones no captadas en esta representación idealizada.

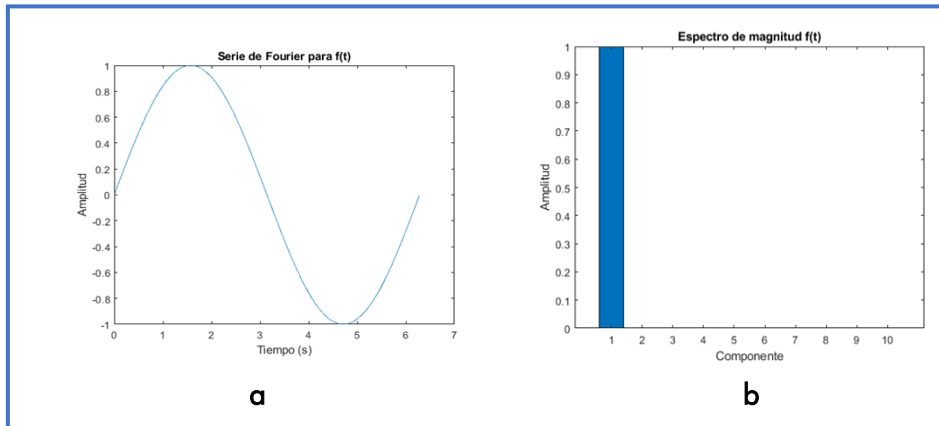


Figura 2. (a) Forma de onda sinusoidal sin armónicos y (b) espectro de frecuencia-amplitud.

En la Figura 2b, se observa claramente que la serie de Fourier aparece en forma sinusoidal y el espectro de frecuencias-amplitud solo muestra la componente fundamental y no existen armónicos de ningún tipo. Para este caso, la componente de corriente directa (el valor promedio de la señal a lo largo de un ciclo completo) no existe y el THD calculado es cero.

Por comparación, la Figura 3 muestra la pantalla del instrumento cuando está conectado directamente al suministro de energía eléctrica. En esta configuración, se puede observar que la señal generada presenta una leve distorsión en su forma de onda. Esta distorsión es un indicio de que la señal no es completamente pura, lo que se refleja en el espectro de frecuencias-amplitud del instrumento. En dicho espectro, se destacan armónicos impares, siendo el tercero el más prominente. Esta anomalía en la señal está relacionada con la naturaleza no lineal de los elementos semiconductores que componen el sistema, ya que estos dispositivos tienden a generar armónicos debido a su comportamiento en condiciones de funcionamiento fuera del rango lineal. Los semiconductores, como los transistores y diodos, son conocidos por introducir distorsiones armónicas, especialmente cuando operan a altas frecuencias o cuando se encuentran en un régimen no lineal de amplificación. La presencia de estos armónicos impares, particularmente el tercero, es un fenómeno común que puede ser asociado con la saturación o la no linealidad de la señal dentro de los componentes electrónicos involucrados.

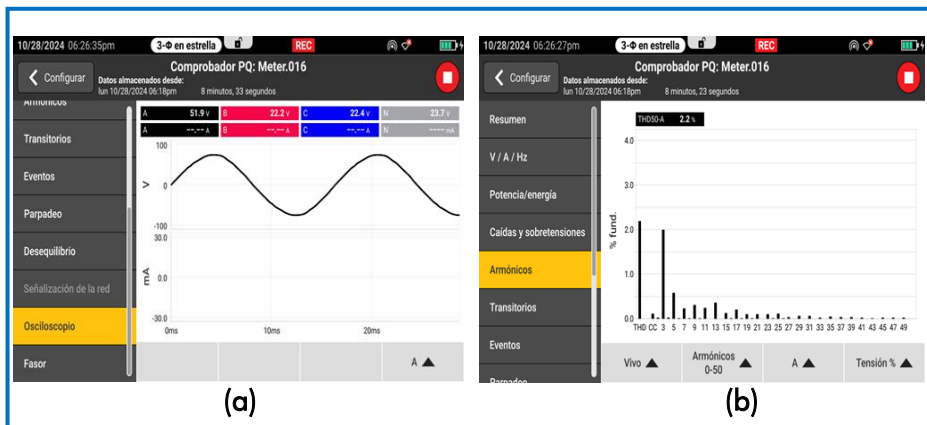


Figura 3. Resultados del analizador de energías, para onda sinusoidal (a) modo osciloscopio y (b) analizador de armónicos.

CASO 2: CIRCUITO RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA NO CONTROLADO

El circuito rectificador de media onda no controlado y su voltaje de salida se muestran en las Figuras 4 y 5, respectivamente. Este circuito ha sido diseñado en el software de simulación Multisim, y consta de los siguientes elementos: una fuente de alimentación de corriente alterna (CA), un diodo semiconductor y una carga resistiva. La fuente de alimentación proporciona la señal de entrada, que es una onda sinusoidal alternante. El diodo se encarga de permitir que la corriente fluya únicamente durante el ciclo positivo de la señal, bloqueando la corriente durante el ciclo negativo. Como resultado, la señal de salida muestra solo las mitades positivas de la onda, generando una forma de onda pulsante. La carga resistiva simula la parte final del circuito, donde se consume la energía rectificada. Este tipo de rectificador es conocido por ser simple y de bajo costo, aunque su eficiencia es limitada, ya que solo se aprovecha la mitad de la señal de entrada.

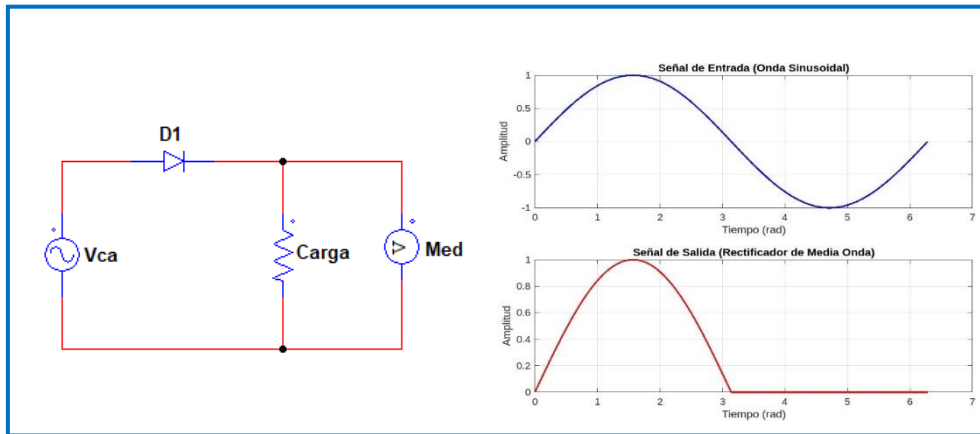


Figura 4. Circuito rectificador de media onda y voltaje de salida del mismo.

Se observa que en la salida del rectificador solo aparece voltaje para el semiciclo positivo de la forma de onda sinusoidal de entrada, debido a que el diodo solo es activado por este voltaje. Al realizar la simulación en MATLAB® para la obtención de la serie de Fourier, considerando como límite de integración inferior 0 y superior π , con un periodo de la señal igual a 2π y como entrada una función sinusoidal, se obtienen los resultados de la Figura 5a.

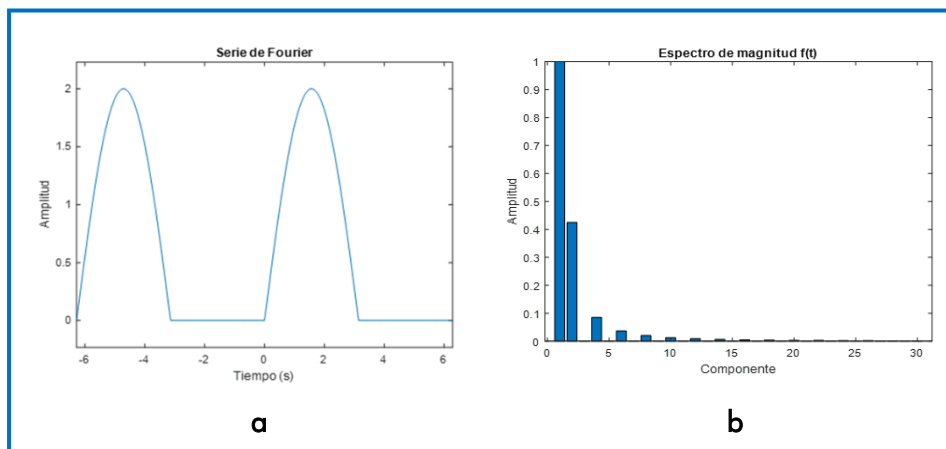


Figura 5. Serie de Fourier y espectro de frecuencias-amplitud para rectificador media onda.

En la Figura 5b, se puede observar que, para este caso, la componente de corriente continua obtenida mediante el cálculo de la serie es $0.3183 V_{max}$, y el THD (Total Harmonic Distortion) es del 43.520%. Además, se puede observar que la simulación muestra la presencia de la componente fundamental, así

como contribuciones de armónicos pares. A medida que aumenta el número de términos en la serie, la amplitud de cada armónico disminuye.

En la Figura 6a, se muestran los resultados obtenidos al conectar el instrumento de medición para verificar los cálculos realizados en MATLAB®. En la Figura 6b, se observa que el $THD = 43.6\%$ (calculado por el instrumento de medición) es muy similar al valor obtenido en la simulación de MATLAB®. Además, se destacan los armónicos pares, mientras que los armónicos impares tienen valores bajos. Esto se debe a la condición inicial de la forma de onda del suministro de energía eléctrica.

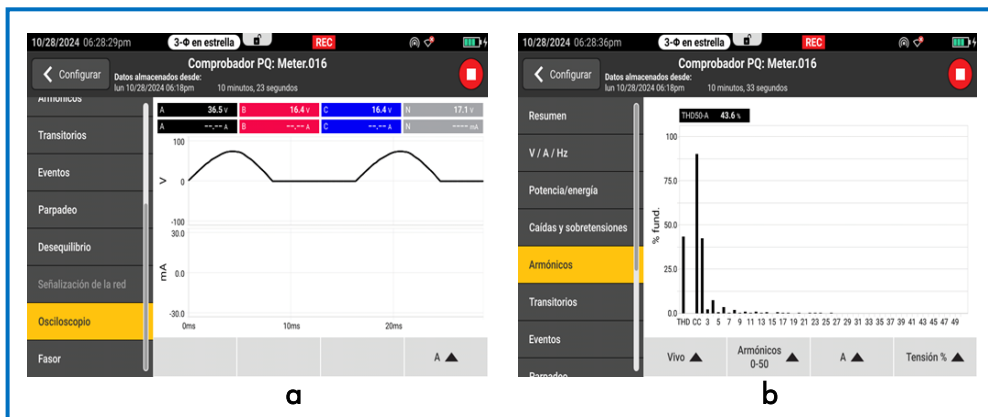


Figura 6. Resultados del analizador de energías, para rectificador de media onda (a) forma de onda de la señal y (b) contenido de armónicos.

CASO 3: RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA NO CONTROLADO

El circuito rectificador de media onda no controlado y su voltaje de salida se muestran en la Figura 7a-b. El rectificador en puente, que es el rectificador tradicional utilizado en aplicaciones de dispositivos electrónicos, se muestra en la Figura 7a. En la Figura 7b, se observan las formas de onda características de entrada y salida.

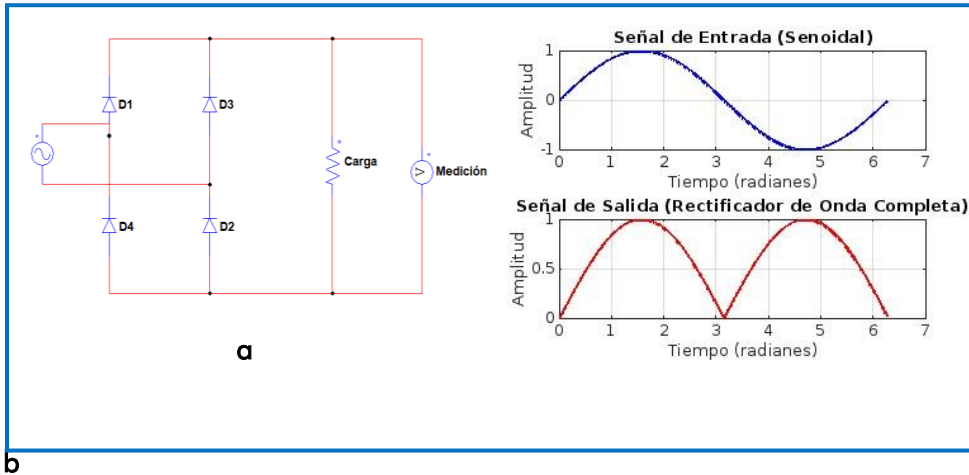


Figura 7. (a) Circuito rectificador de onda completa y (b) formas de onda de entrada (azul) y de salida (rojo) del rectificador.

En la Figura 8a, se observa que en la salida del rectificador solo aparece voltaje para ambos semiciclos, solo que el negativo es rectificado a valor positivo. Al realizar la simulación en MATLAB®, para la obtención de la serie de Fourier, considerando como límite de integración inferior 0 y superior π , con un periodo de la señal igual a π y como entrada una función sinusoidal.

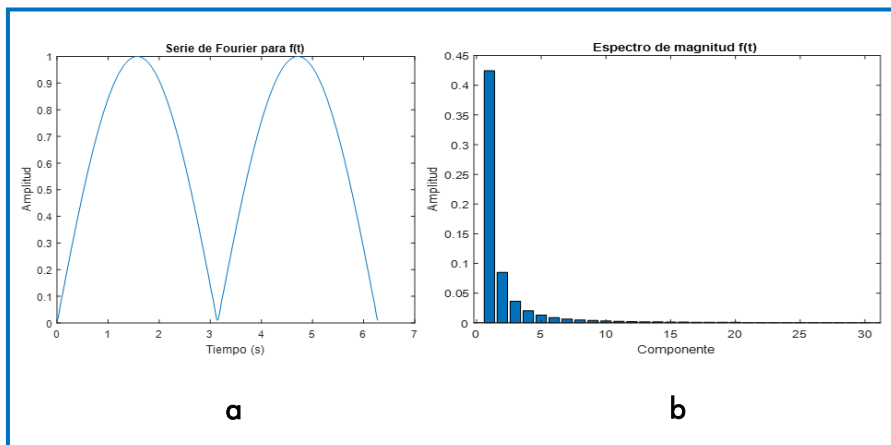


Figura 8. (a) Serie de Fourier y (b) espectro de frecuencias-amplitud para rectificador de onda completa.

En la Figura 8b, se observa que, para este caso, la componente de corriente continua obtenida mediante el cálculo de la serie es $0.6366 \cdot V_{max}$, y el THD es 22.520%. También se puede observar que la simulación muestra la presencia de la componente fundamental, así como armónicos pares e

impares. A medida que aumenta el número de iteraciones en la serie, la amplitud de cada armónico disminuye, tal como se mencionó anteriormente.

En la Figura 9, se muestran los resultados obtenidos al conectar el instrumento de medición al circuito correspondiente para verificar los cálculos realizados en MATLAB®. Esta conexión permite comparar directamente las mediciones experimentales con los valores teóricos obtenidos mediante simulación, asegurando la precisión y validez de los resultados. El uso del instrumento de medición también permite observar el comportamiento real del circuito, tomando en cuenta factores como las imperfecciones del sistema, posibles interferencias y características no idealizadas, que podrían no reflejarse completamente en la simulación computacional. Esto ofrece una visión más completa de la respuesta del circuito en condiciones prácticas.



Figura 9. Resultados del analizador de energías, para rectificador de onda completa.

Se observa claramente que el $\text{THD}=22.4\%$ (calculado por el instrumento de medición) es muy cercano al cálculo realizado por la simulación de MATLAB®.

- Armónico: número armónico (1° , 2° , 3° , etc.).
- Frecuencia experimental (Hz): frecuencia observada experimentalmente para ese armónico.
- Frecuencia simulada (Hz): frecuencia calculada en la simulación de MATLAB®.
- Amplitud experimental (V): amplitud de la señal medida con el analizador de energías FLUKE 1773.

- Amplitud simulada (V): amplitud de la señal obtenida en la simulación de MATLAB®.
- Diferencia (%): diferencia porcentual entre los valores experimentales y simulados en términos de amplitud.

CASO 4: RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA CONTROLADO

El circuito rectificador de media onda controlado se muestra en la Figura 10. Se observa que el circuito requiere un disparo o pulso para que el SCR entre en conducción.

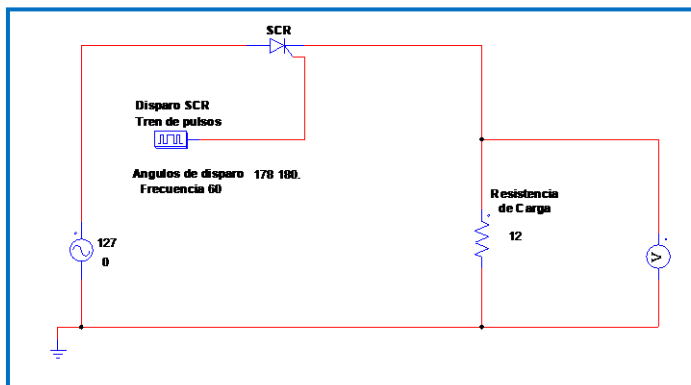


Figura 10. Circuito rectificador de media onda controlado.

En este circuito, el principio de operación sigue siendo el mismo, permitir solo el paso del semiciclo positivo y el negativo no es provechado. A diferencia del no controlado, se sustituye el diodo por un rectificador controlado de Silicio (SCR), el cual requiere de un circuito de control que envíe el pulso (disparo) a la compuerta para comenzar la conducción, y así tener un voltaje de salida. La Figura 10, muestra el voltaje de salida del rectificador.

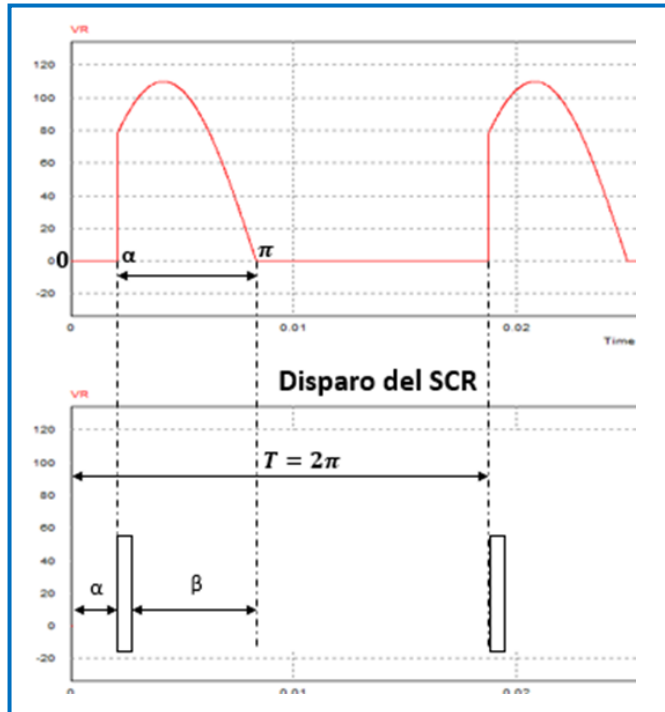


Figura 11. Voltaje de salida del rectificador de media onda controlado.

En la Figura 11, se observa que α es el ángulo o tiempo de disparo del SCR, y β representa el ángulo o tiempo de conducción del SCR. Como puede observarse, el ángulo de disparo que puede enviarse en cualquier instante al SCR es antes de los 180° , ya que después de este ángulo el SCR no conduce.

Al realizar la simulación en MATLAB®, para la obtención de la serie de Fourier, considerando dos funciones de entrada; la primera es cero, cuyos límites de integración son: inferior 0 y superior α , y la segunda es sinusoidal cuyos límites de integración son: inferior α y superior π , con un periodo de la señal a 2π , los resultados se muestran en la Figura 12a-b.



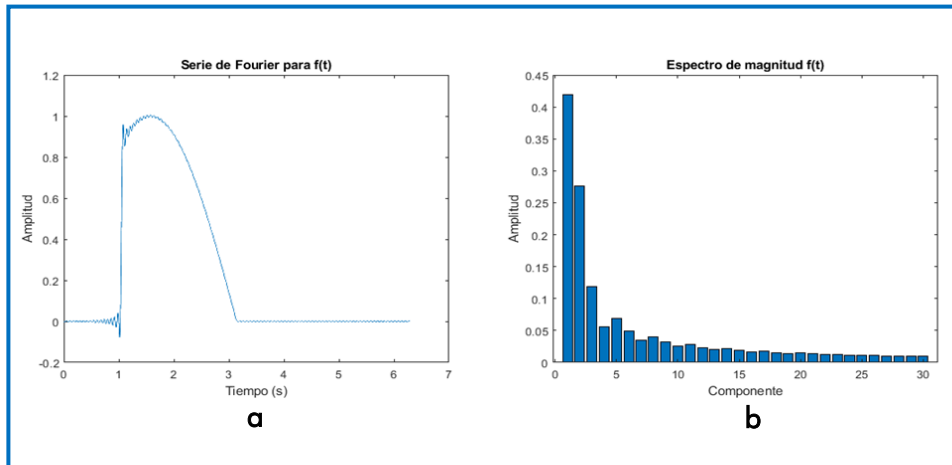


Figura 12. Serie de Fourier y espectro de frecuencias-amplitud para rectificador de media onda controlado.

Para este caso, la componente de corriente directa obtenida por cálculo de la serie es $0.2390 \cdot V_{max}$, el $THD=78.940\%$. El valor del THD es muy alto en comparación con los circuitos de media onda y onda completa no controlados. Esto tiene sentido, ya que hay discontinuidades de la señal al enviar el disparo al SCR. Estos cambios abruptos provocan una mayor cantidad de armónicos de la señal.

En la Figura 12b, se observa que, a medida que aumentan las componentes de la serie, el armónico en cuestión no necesariamente tiene que ser menor que el anterior, especialmente en el caso del rectificador controlado.

CASO 5: INVERSOR CONECTADO A UN MOTOR DE INDUCCIÓN

Para la implementación de este caso, se utiliza una parte del tablero que contiene dispositivos electrónicos de Transistor Bipolar de Puerta Aislada (IGBT), los cuales proporcionan la señal del inversor trifásico.

En la Figura 13a-b se muestran (a) el osciloscopio y (b) el fasorímetro del analizador de energía. Se puede observar la distorsión en la forma de onda de los voltajes trifásicos, lo cual se debe a la naturaleza del funcionamiento del inversor, que entrega pulsos de voltaje. La magnitud de los voltajes y el

desfase de 120° se observan en el fasorímetro, donde se aprecia que cumplen con las características de un sistema trifásico.

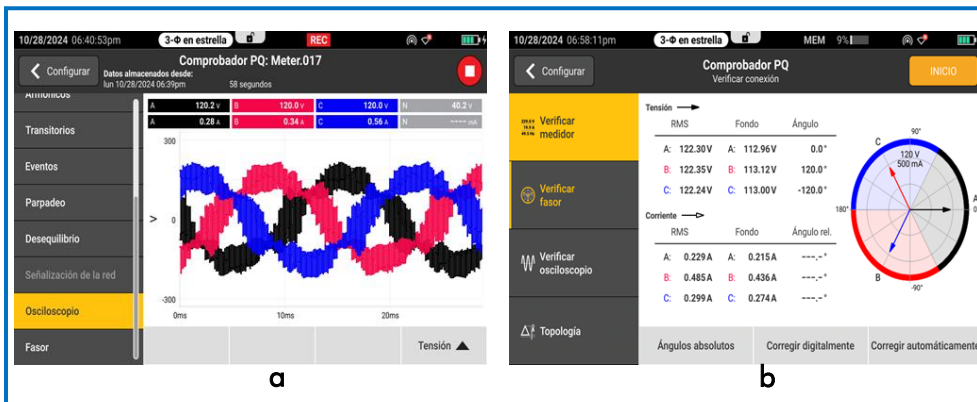


Figura 13. (a) forma de onda en el osciloscopio y (b) fasorímetro para el caso del inversor.

La Figura 14 muestra el espectro de frecuencias-amplitud del analizador de energía. Los índices de THD obtenidos (2.6%, 2.9% y 3.0% para cada fase, según el analizador de energía) son bajos, lo que indica que se cumple con la normatividad vigente, la cual establece un límite máximo de THD no superior al 5%. Sin embargo, se observa la presencia de una amplia variedad de armónicos en este tipo de circuitos. Esta variedad de armónicos es coherente con la señal de pulsos que el inversor entrega como salida.

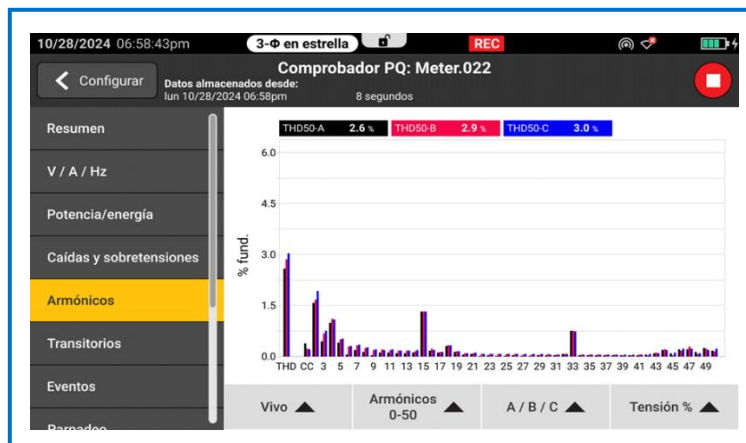


Figura 14. Espectro de frecuencias-amplitud para el caso del inversor de energía eléctrica.

CONCLUSIONES

1. Se observa que la forma de onda del suministro de energía eléctrica ya está contaminada por armónicos provenientes del sistema eléctrico de potencia. En este caso, se destaca la presencia de un tercer armónico.
2. En la mayoría de los casos, la teoría y la práctica coinciden, con una ligera variación debido al contenido armónico presente en la señal de entrada.
3. En el caso del rectificador de media onda, se observa que las simulaciones y las mediciones obtenidas son muy cercanas. La única diferencia notable es la aparición del tercer armónico presente en la señal sinusoidal de entrada.
4. En el caso del inversor conectado al motor de inducción trifásico, a medida que se lleva al motor a sus valores nominales, el THD disminuye progresivamente, incluso cumpliendo con las normativas respectivas. Sin embargo, la forma de onda mostrada en el instrumento de medición no es una sinusoidal como se espera, lo cual podría provocar un calentamiento excesivo en el motor.
5. Las señales con cambios repentinos (como cuadradas, triangulares y los disparos de SCR) presentan una mayor componente de armónicos. Esto no necesariamente implica un alto valor de THD, ya que depende de la amplitud de cada armónico.

REFERENCIAS

- Cecchi, V., Leger, A. S., Miu, K., & Nwankpa, C. O. (2009). Modeling approach for transmission lines in the presence of non-fundamental frequencies. *IEEE transactions on power delivery*, 24(4): 2328-2335.
- Greene, J. D., & Gross, C. A. (1988). Nonlinear modeling of transformers. *IEEE transactions on Industry Applications*, 24(3): 434-438.
- Jenkins, W. K. (2017). Fourier methods for signal analysis and processing. In *Digital Signal Processing Fundamentals* (pp. 3-32). CRC Press.

- Luszcz, J. (2013). High frequency harmonics emission of modern power electronic AC-DC converters. 2013 International Conference-Workshop Compatibility and Power Electronics,
- Mohammed, S. A. Q., & Jung, J.-W. (2021). A state-of-the-art review on soft-switching techniques for DC-DC, DC-AC, AC-DC, and AC-AC power converters. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(10): 6569-6582.
- Moler, C. (2024). MatLab (software). *Syntax*, 2024(24.2). 24.21-24.21.
- Rastogi, R. (2004). Electromagnetic induction by the equatorial electrojet. *Geophysical Journal International*, 158(1): 16-31.
- Shibuya, S., Kobayashi, Y., & Kobayashi, H. (2015). High-frequency low-distortion signal generation algorithm with arbitrary waveform generator. 2015 IEEE 11th International Conference on ASIC (ASICON). DOI: [10.1109/ASICON.2015.7517007](https://doi.org/10.1109/ASICON.2015.7517007)

¿POR QUÉ USAR UN SISTEMA DIFUSO PARA EVALUAR LA CREATIVIDAD? UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA

WHY USE A FUZZY SYSTEM TO ASSESS CREATIVITY: A SYSTEMATIC REVIEW OF LITERATURE?

EDÉN PATRICIA CALVILLO MARTÍNEZ¹

ROLANDO JAVIER PARAGA ALEJO²

MARÍA EUGENIA MOLAR OROZCO¹

RESUMEN

Evaluar la creatividad ha sido un reto constante debido a su carácter subjetivo, multidimensional y sensible al contexto. Los métodos tradicionales, como las pruebas psicométricas o los juicios de expertos, no siempre logran capturar esa complejidad. Este estudio revisa de forma sistemática la literatura reciente (2020–2024) para explorar el potencial de los sistemas difusos como alternativa para medir la creatividad de forma más precisa y contextualizada.

La búsqueda se realizó en bases de datos académicas reconocidas, se identificaron inicialmente 192 estudios, de los cuales se seleccionaron seis que cumplieran con todos los criterios de inclusión. Estos trabajos abordan aplicaciones de lógica difusa en campos como la educación, el arte, la innovación y la evaluación de habilidades blandas.

Los resultados muestran que los sistemas difusos permiten integrar distintos criterios de forma simultánea, procesar información ambigua y adaptarse a escenarios diversos, lo cual es especialmente útil en la evaluación de competencias como la creatividad. Aunque todavía es un campo en desarrollo, la evidencia sugiere que esta metodología puede contribuir a evaluaciones más justas, flexibles y acordes con las dinámicas actuales de aprendizaje e innovación.

Palabras clave: creatividad; evaluación; sistemas difusos; inteligencia artificial.

1. Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarias, Unidad Sureste, UAdeC.
2. Facultad de Sistemas Unidad Sureste, UAdeC.

Correspondencia
eden_calvillo@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2370-0312>
Fecha de recepción
28 de mayo de 2025.
Fecha de aceptación
22 de octubre de 2025.

ABSTRACT

Assessing creativity is a persistent challenge due to its subjective, multidimensional, and contextual nature. Conventional methods, including psychometric tests and expert judgments, often fail to capture the intricacies inherent in these processes. This study systematically reviews recent literature (2020–2024) to explore the potential of fuzzy systems as an alternative for assessing creativity. The search was conducted in recognized academic databases, initially identifying 192 studies, of which six met all inclusion criteria. The extant studies address the applications of fuzzy logic in areas such as education, art, innovation, and the development and assessment of soft skills. Collectively, these findings highlight the effectiveness of this methodological approach in representing subjective variables, processing qualitative judgments, and developing adaptable assessment models. The findings indicate that fuzzy systems facilitate the concurrent integration of multiple criteria, the processing of ambiguous information, and adaptation to diverse contexts. This capacity is advantageous for assessing competencies such as creativity. Furthermore, they propose a flexible framework for incorporating subjective dimensions that are often neglected in other approaches. Despite the identification of limitations in the reviewed studies, the results support the value of fuzzy systems as a tool for enriching evaluation processes in the educational and creative fields. The conclusion drawn from this analysis is that there is an imperative to develop more specific models, adapted to different contexts and capable of translating the complexity of creative thinking into assessable and relevant indicators.

Keywords: *creativity; assessment; fuzzy systems; artificial intelligence.*

I. INTRODUCCIÓN

La creatividad, como capacidad humana compleja, requiere enfoques innovadores para su evaluación en contextos contemporáneos. El presente estudio tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura para analizar el papel de los sistemas difusos en este contexto; para lograrlo, se analizaron los estudios existentes para identificar las ventajas y limitaciones

de esta metodología, así como áreas de oportunidad para futuras investigaciones.

La creatividad se considera una cualidad inherente al ser humano y ha sido objeto de estudio y reflexión a lo largo de la historia. Según Kettler y col. (2021), aunque la palabra creatividad es relativamente reciente, la capacidad de crear ha estado presente desde los inicios de la humanidad, y se atribuía a fuerzas divinas o sobrenaturales, por lo que se consideraba un don exclusivo de unos pocos.

Los autores exponen el desarrollo del concepto y señalan que con el Renacimiento se comenzó a valorar el papel del creador humano y la importancia de la técnica, más adelante, la época de la Ilustración trajo consigo una visión más racionalista de la creatividad, que coexistió con una visión romántica que enfatizaba la intuición y el inconsciente. A finales del siglo XIX, con las ideas de Poincaré, se inició un enfoque más científico de la creatividad y se consolidó en el siglo XX gracias a los aportes de la psicología.

El concepto de creatividad ha sido difícil de definir y ha evolucionado a lo largo del tiempo, al transitar por diversas etapas y enfoques. En las últimas décadas, según expone Sawyer (2012), se ha producido un creciente interés por el estudio de la creatividad desde diversas disciplinas, lo que ha llevado a una proliferación de definiciones.

Si bien existen diferentes enfoques, la mayoría coinciden en que la creatividad implica un proceso cognitivo que involucra la generación de ideas originales y útiles. Además, reconocen la importancia del contexto social y cultural en la expresión de la creatividad.

Definirla de manera precisa resulta un desafío, ya que engloba un conjunto complejo de procesos cognitivos y emocionales que van desde la generación de ideas originales hasta la implementación de soluciones novedosas. No obstante, la creatividad es una capacidad humana fundamental que posibilita la generación de ideas, la resolución de problemas y la transformación del entorno.

Por su parte, evaluar la creatividad representa también un reto debido a la falta de una definición universalmente aceptada y a su naturaleza subjetiva (Pérez Ferreyra y col., 2016). Aún así, existe un consenso general sobre la posibilidad de desarrollar la creatividad a través de la educación y el entrenamiento. Investigaciones como las de Torrance demostraron que las

habilidades creativas mejorarse con la práctica y la instrucción adecuada (Nielsen y Thurber, 2018).

Tradicionalmente, la evaluación de la creatividad se ha basado en pruebas psicométricas y juicios de expertos. Sin embargo, estas metodologías pueden presentar limitaciones en cuanto a su objetividad y capacidad para capturar la complejidad del fenómeno creativo, además de ser de difícil acceso por costo, compleja implementación y puntuación.

En este contexto, la inteligencia artificial (IA) es una herramienta útil gracias a su capacidad para procesar grandes cantidades de datos y aprender de manera autónoma, ofrece nuevas posibilidades para modelar y evaluar la creatividad.

Existen diferentes tipos de sistemas inteligentes, como la lógica difusa, las redes neuronales, los algoritmos evolutivos. Este tipo de métodos generalmente tratan de emular la inteligencia humana y los patrones complejos observados en sistemas naturales, como la adaptación, el aprendizaje o la autorregulación. Una de las ramas de la IA que ha demostrado ser particularmente útil en este ámbito es la de los sistemas difusos.

Los sistemas difusos son inspirados en la lógica humana y permiten modelar conceptos imprecisos e inciertos; se basan en la noción de pertenencia relativa graduada que, a diferencia de la lógica binaria (verdadero o falso), utiliza valores de verdad que varían entre 0 y 1, lo que permite representar matices y ambigüedades.

El concepto de conjuntos difusos fue introducido por Lotfi A. Zadeh en 1965 en su artículo *Fuzzy Sets. Information and Control* (Zadeh, 1965). Desarrolló esta teoría con el objetivo de abordar problemas que involucran una alta imprecisión y criterios vagos, comunes en sistemas de control. Señaló que, a diferencia de los conceptos matemáticos precisos, en el mundo real muchos objetos no tienen límites de pertenencia claramente definidos, por ejemplo, mientras el conjunto de humanos incluye de forma clara a hombres y mujeres, el concepto de "altura" es más difuso, ya que un individuo puede ser considerado "muy bajo", "no tan bajo", "mediano", "no tan alto" o "muy alto", entre otros grados.

Los sistemas difusos operan mediante reglas del tipo SI-ENTONCES, lo que les permite abordar problemas del mundo real que usualmente requieren juicio



humano, afrontar situaciones con sistemas complejos, que están definidos de forma imprecisa, y en ocasiones con variables difíciles de medir y determinar (Tremante y Brea, 2014; Zarandi y col., 2012).

Por lo anterior, estos sistemas proporcionan un medio eficaz para la resolución de conflictos de criterios múltiples y una mejor evaluación de las opciones. Se han investigado y utilizado en diversas áreas como: ingeniería, matemáticas, desarrollo de software, ciencias naturales, ciencias sociales y negocios; y se puede ver su aplicación en: patrones de reconocimiento facial, aires acondicionados, máquinas de lavado, aspiradoras, sistema de frenado antideslizante, control de sistemas de metro y helicópteros no piloteados, sistemas basados en el conocimiento para la optimización, sistemas para fijar precios de nuevos productos y para la evaluación de riesgos de proyectos, por mencionar algunos (Singh y col., 2013).

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se siguió el método de revisión sistemática, el proceso se apegó a la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page y col., 2021), por lo que consistió en realizar una búsqueda en diversas bases de datos académicas para identificar estudios que hayan utilizado sistemas difusos en el ámbito de la evaluación de la creatividad. Los criterios de inclusión se establecieron para seleccionar investigaciones que aporten evidencia empírica sobre la eficacia y las limitaciones de los sistemas difusos en este campo.

Una vez realizado el proceso de selección, se presentan y extraen los principales resultados de los trabajos seleccionados para responder a las preguntas definidas y generar conclusiones.

2.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN Y BÚSQUEDA

Las preguntas que orientan el problema de investigación del presente trabajo son las siguientes. ¿Pueden los sistemas difusos capturar la naturaleza subjetiva y multidimensional de la creatividad? ¿Qué ventajas ofrecen los sistemas difusos en comparación con otras técnicas de evaluación de la

creatividad? ¿Cuáles son las limitaciones y desafíos de utilizar sistemas difusos para evaluar la creatividad?

Para responder a las preguntas anteriores se definieron los siguientes objetivos: (1) Identificar los estudios centrados en el uso de los sistemas difusos como herramienta de evaluación de la creatividad publicados entre el 2020 y el 2024, a través de una revisión sistemática. (2) Analizar las aplicaciones de los sistemas difusos en las investigaciones encontradas. (3) Analizar las aportaciones, ventajas y desventajas de uso.

2.2 CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD

Esta revisión se centra en trabajos de investigación que describen e introducen el uso de los sistemas difusos en temas similares o iguales a la evaluación de la creatividad. La selección incluye trabajos de investigación publicados entre 2020 y 2024 y considera solo estudios en inglés. Además, una vez realizada la búsqueda inicial, los filtros utilizados para la inclusión y exclusión de estudios se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de inclusión/exclusión de artículos de investigación.

Inclusión	Exclusión
Publicado entre 2020 y 2024	Publicado antes de 2020
Idioma inglés	No en inglés
Trabajo de investigación empírica	No empírico, como revisión
Artículos en Acceso Abierto	Artículos con no Acceso Abierto
Aplicaciones de sistemas difusos en áreas similares a la creatividad y/o educación.	Aplicaciones de sistemas difusos en áreas de ingeniería, procesos, etc.

2.3 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

La revisión sistemática se realizó en septiembre 2024 de acuerdo con la declaración PRISMA (Page y col., 2021). Así las búsquedas se centran en el periodo de tiempo entre 2020 y 2024, se utilizaron las siguientes bases de datos: ACM Digital Library, Elsevier (ScienceDirect), Redalyc, Springer, Taylor and Francis y Wiley Online Library, puesto que son consideradas las bibliotecas académicas en línea más importantes con acceso gratuito. Al realizar la búsqueda en cada una de las bases de datos, se tuvo en cuenta los artículos de investigación y de conferencias, y se utilizaron los siguientes

conjuntos de palabras: ["FUZZY SYSTEM" OR "FUZZY LOGIC"] AND ["CREATIVITY"] AND ["ASSESSMENT"].

La primera búsqueda arrojó un total de 396 estudios. Luego se descartaron aquellos que no ofrecían acceso libre al texto completo y se conservaron 192 artículos para su análisis.

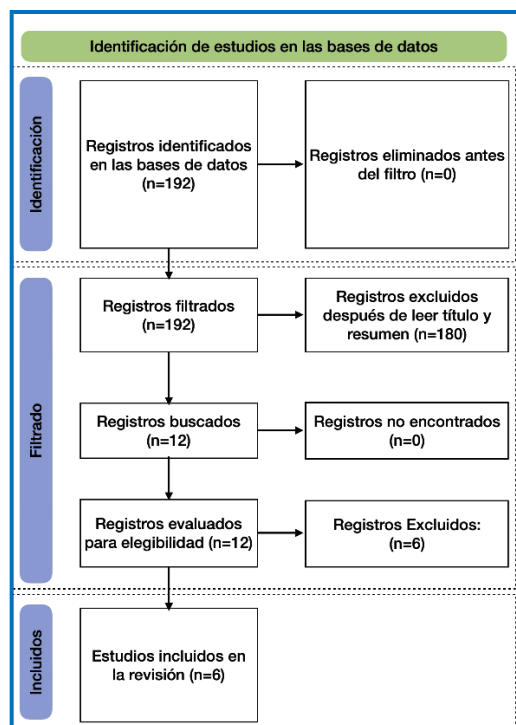
2.4 SELECCIÓN DE ESTUDIOS

Los artículos obtenidos a través de la estrategia de búsqueda mencionada en la sección previa fueron revisados de manera independiente. Primero, se examinaron los títulos y resúmenes para identificar los más pertinentes; posteriormente, los artículos seleccionados fueron analizados en su totalidad para verificar su cumplimiento con los criterios de esta revisión sistemática. La administración de los estudios elegidos se llevó a cabo utilizando el software Mendeley.

III. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

A partir de los estudios identificados (192), se descartaron 180 estudios por no cumplir los requisitos de búsqueda tras leer su título y resumen. Así, se analizaron los doce artículos restantes a través de su texto completo y se excluyeron seis por no cumplir los criterios antes mencionados (ver Tabla 1). El diagrama de flujo del proceso se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Diagrama PRISMA.



La Tabla 2 muestra la información relevante de los artículos seleccionados, se incluyen los objetivos y hallazgos, ya sea en relación directa con la evaluación de la creatividad o en contextos comparables que emplean sistemas difusos. Posteriormente, se comentan los aspectos más importantes obtenidos.

Tabla 2. Artículos seleccionados

Referencia	Objetivo y aportación al tema
(Sun y col., 2022)	Este estudio proporciona un modelo para evaluar la competitividad de las industrias deportivas y culturales basado en un algoritmo de análisis difuso, y propone un sistema de índice de evaluación de competitividad de la industria deportiva y cultural de siete dimensiones. Si bien no evalúa habilidades como la creatividad, este estudio muestra que la teoría difusa puede ser muy útil para generar modelos de evaluación de competencias.
(Wang y col., 2023)	Los autores presentan una nueva y eficaz herramienta de lógica difusa para evaluar estadísticamente el desempeño de sostenibilidad de una empresa. Los resultados muestran que la herramienta proporciona a los altos líderes administrativos información útil para supervisar correctamente las preocupaciones y medir el compromiso con el éxito de la empresa.
(Novais y col., 2024)	Esta investigación tuvo como objetivo presentar un Sistema Experto Difuso con experiencia en psicología que busca ayudar a profesores, investigadores e instituciones educativas a evaluar el nivel de incorporación de las <i>Soft skills</i> (habilidades blandas) de los estudiantes (entre ellas la creatividad) mientras asisten a sesiones de aprendizaje activo. La metodología fue de carácter exploratorio aplicado, y propone un enfoque cualitativo y cuantitativo, en el que se utilizó la triangulación metodológica entre el análisis bibliográfico, el estudio de caso y el modelado e implementación del sistema experto denominado <i>Fuzzy Soft Skills Assessment</i> (FSSA) para lograr el objetivo propuesto. El uso de la lógica difusa demostró ser adecuada, ya que se tuvo en cuenta el grado de incertidumbre derivado de las decisiones que implican la subjetividad del análisis del comportamiento.
(Sang, 2024)	El objetivo principal de este proyecto fue desarrollar una metodología de evaluación integral para el diseño artístico ambiental (EAD por sus siglas en inglés) que considere la evolución de los entornos tecnológicos y las expectativas del público. Para lograrlo propone un algoritmo que utiliza criterios difusos (EADF) lo que da por resultado una sistemática, estructurada y cualitativa manera de evaluar trabajos artísticos usando estándares estéticos, ambientales y sustentables. La metodología considera el atractivo visual, efectos ambientales, sustentabilidad y compromiso con la audiencia.
(Jia y Wang, 2024)	En este estudio los investigadores desarrollaron una estrategia innovadora basada en <i>Q-learning</i> y el algoritmo <i>Takagi-Sugeno Fuzzy Control</i> , es decir que combina aprendizaje adaptativo y lógica difusa para optimizar la innovación empresarial, la cual abarca factores como la mejora de la productividad, efectividad y competitividad. Los resultados indican que el modelo propuesto representa y gestiona con éxito la ambigüedad y la imprecisión en la toma de decisiones de innovación.
(Goyal y col., 2022)	En este artículo se propone un método de inferencia difusa para analizar el impacto de la evaluación basada en proyectos en el desarrollo del pensamiento creativo y crítico, la toma de decisiones colaborativa y las habilidades de comunicación de los estudiantes en ingeniería. La metodología y los resultados preliminares realizados durante un año son prometedores y ayudan a los educadores a evaluar el desempeño de un candidato individualmente o en grupo en varios criterios de evaluación, ayudándolos a lograr el conocimiento, los valores, la actitud, el aprendizaje profundo y las habilidades necesarias para el desarrollo de una educación sostenible.

Uno de los principales desafíos en la evaluación de la creatividad es la subjetividad inherente a su medición, ya que se trata de un concepto complejo que involucra aspectos cognitivos, emocionales y contextuales, lo que dificulta su cuantificación mediante métodos tradicionales. La lógica difusa ha demostrado ser una herramienta eficaz para gestionar esta subjetividad, al permitir representar y procesar información imprecisa o incierta (Jia y Wang, 2024; Novais y col., 2024).

El estudio de Novais y col. (2024) es particularmente relevante, ya que propone un sistema experto difuso que evalúa la incorporación de habilidades blandas en estudiantes, incluida la creatividad. Su enfoque mixto demuestra que la lógica difusa es capaz de abordar la variabilidad de la interpretación humana en la evaluación de competencias subjetivas, lo que sugiere que un sistema difuso aplicado a la creatividad podría ofrecer una evaluación más precisa y adaptable a diferentes contextos educativos y profesionales.

Si bien la evaluación de la creatividad con lógica difusa aún es un campo en desarrollo, diversos estudios han utilizado esta metodología para evaluar otras competencias, como es el caso de Sun y col. (2022) y Wang y col. (2023), quienes aplicaron modelos difusos para medir la competitividad y el desempeño de sostenibilidad, respectivamente. Sus estudios demostraron que estos sistemas pueden procesar grandes volúmenes de información cualitativa y convertirla en datos cuantificables.

Por otro lado, en el ámbito educativo, Goyal y col. (2022) propusieron un modelo basado en lógica difusa para investigar el impacto de la evaluación basada en proyectos mediante el análisis del pensamiento crítico y creativo, la toma de decisiones en colaboración y las habilidades de comunicación de estudiantes de ingeniería. Su enfoque sugiere que la lógica difusa permite una evaluación más holística del aprendizaje, ya que es posible integrar múltiples criterios que reflejan mejor las habilidades de los estudiantes.

Otro aspecto importante a resaltar es la capacidad de los sistemas difusos para manejar múltiples criterios de evaluación simultáneamente, como la estética, efectos ambientales, sustentabilidad y compromiso con la audiencia, como se observa en el estudio de Sang (2024) sobre evaluación en diseño artístico ambiental que demuestra que la lógica difusa permite integrar diferentes atributos subjetivos en un solo índice de evaluación. Esta característica es especialmente relevante para la creatividad, ya que su evaluación no debe limitarse a un solo factor, sino que debe considerarse



múltiples dimensiones como la originalidad, la fluidez, la flexibilidad y la elaboración, así como el ambiente y el producto resultante.

Asimismo, Jia y Wang (2024) muestran cómo la lógica difusa permite optimizar la toma de decisiones en entornos inciertos ya que mejora la predicción de resultados en procesos innovadores. Su modelo de control difuso aplicado a la innovación empresarial sugiere que esta metodología puede ser útil para predecir niveles de creatividad en función de factores contextuales, lo que podría trasladarse a la evaluación del desempeño creativo en diversas disciplinas.

A pesar de sus ventajas, el uso de sistemas difusos en la evaluación de la creatividad presenta ciertos desafíos. Uno de ellos es el diseño de reglas de inferencia adecuadas, ya que la creatividad no sigue un patrón fijo y podría variar según el contexto o la disciplina.

Otro reto es la resistencia al cambio en algunos entornos educativos, donde las evaluaciones tradicionales están arraigadas, por lo que la implementación de estos sistemas requiere formación y adaptación por parte de docentes, investigadores y profesionales.

CONCLUSIONES

La literatura revisada es evidencia de que los sistemas difusos ofrecen una vía viable para avanzar en la evaluación de fenómenos complejos como la creatividad. Gracias a su capacidad para manejar ambigüedades, permiten representar fenómenos imprecisos con mayor fidelidad. También integran múltiples dimensiones y se adaptan a distintos contextos, lo que los hace especialmente pertinentes para medir constructos variables y subjetivos.

Los estudios analizados apuntan a una tendencia común: el reconocimiento de que los sistemas difusos permiten abordar con mayor sensibilidad aspectos cualitativos que suelen quedar fuera de las herramientas tradicionales. Autores como Novais y col. (2024) destacan su utilidad en entornos educativos al evaluar habilidades blandas como la creatividad, la innovación y la adaptabilidad, mientras que investigaciones como las de Sang (2024) y Goyal



y col., (2022) muestran aplicaciones exitosas en el campo del arte o la ingeniería, lo que refuerza la versatilidad de esta metodología.

Aun así, no se deben ignorar los desafíos, por ejemplo, diseñar reglas de inferencia útiles y adecuadas requiere conocer bien tanto el tema como el funcionamiento de los sistemas difusos.

En conjunto, los hallazgos de esta revisión respaldan el uso de sistemas difusos como una herramienta útil para abordar la complejidad de la creatividad. Sin embargo, es necesario avanzar hacia el diseño de modelos específicos que respondan a las características particulares de esta capacidad en distintos contextos.

No se trata solo de demostrar que técnicamente es posible evaluarla con un sistema difuso, también es fundamental desarrollar propuestas prácticas que sean pertinentes, comprensibles y aplicables en ámbitos educativos y profesionales. Esto permitirá ampliar las posibilidades de evaluación, lo que hará el proceso más justo, contextualizado y representativo de las múltiples formas en que se expresa la creatividad.

REFERENCIAS

- Goyal, M., Gupta, C., & Gupta, V. (2022). A meta-analysis approach to measure the impact of project-based learning outcome with program attainment on student learning using fuzzy inference systems. *Heliyon*, 8(8): e10248. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10248>
- Jia, Y., & Wang, Z. (2024). Application of artificial intelligence based on the fuzzy control algorithm in enterprise innovation. *Heliyon*, 10(6) : e28116. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28116>
- Kettler, T., Lamb, K. N., & Mullet, D. R. (2021). Introduction. En *Developing creativity in the classroom* (pp. 1–10). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003234104-1>
- Nielsen, D., & Thurber, S. (2018). *Conexiones creativas: La herramienta secreta de las mentes innovadoras*. Gustavo Gili.
- Novais, A. S. de, Matelli, J. A., & Silva, M. B. (2024). Fuzzy soft skills assessment through active learning sessions. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 34(2) : 416–451. <https://doi.org/10.1007/s40593-023-00332-7>

- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 74(9) : 790–799. <https://doi.org/10.1016/J.REC.2021.07.010>
- Pérez Ferreyra, V. H., Ávila Carreón, F., & Narváez Vásquez, G. A. (2016). Batería de evaluación del pensamiento creativo (VP-FA-14). *Revista Global de Negocios*, 4(3) : 1–15.
- Sang, Y. (2024). Application in environmental art design practice based on a fuzzy evaluation system. *Scientific Reports*, 14(1): 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62477-2>
- Sawyer, R. K. (2012). *Explaining creativity: The science of human innovation* (2.^a ed.). Oxford University Press.
- Singh, H., Gupta, M. M., Meitzler, T., Hou, Z.-G., Garg, K. K., Solo, A. M. G., & Zadeh, L. A. (2013). Real-life applications of fuzzy logic. *Advances in Fuzzy Systems*, 2013(1) : 581879. <https://doi.org/10.1155/2013/581879>
- Sun, G., Zhang, X., & Lin, Y. (2022). Evaluation model of sports culture industry competitiveness based on fuzzy analysis algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9708646>
- Tremante, P., & Brea, E. (2014). Una visión de la teoría difusa y los sistemas difusos enfocados al control difuso. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 4(12): 121–136.
- Wang, H., Bhattacharjee, S., Kausar, N., Mohammadzadeh, A., Pamucar, D., & Al Din Ide, N. (2023). Financial performance assessment by a Type-2 fuzzy logic approach. *Mathematical Problems in Engineering*, 2023: 1–8. <https://doi.org/10.1155/2023/5926162>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8: 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zarandi, M. H. F., Mohammadhasan, N., & Bastani, S. (2012). A fuzzy rule-based expert system for evaluating intellectual capital. *Advances in Fuzzy Systems*. <https://doi.org/10.1155/2012/823052>

IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA TEXTIL Y ESTRATEGIAS SOSTENIBLES PARA SU MITIGACIÓN

ENVIROMENTAL IMPACTOF THE TEXTILE INDUSTRY AND SUSTAINABLE STRATEGIES FOR ITS MITIGATION

DAVID IZQUIERDO DUARTE¹

VÍCTOR JAVIER CRUZ DELGADO¹

CARLOS ALBERTO ÁVILA ORTA¹

HEIDI ANDREA FONSECA FLORIDO²

RESUMEN

La industria textil ha evolucionado desde el uso de fibras naturales hasta la producción masiva de fibras sintéticas. La moda rápida ha intensificado el consumo y desecho de prendas, contribuyendo a la contaminación del agua, suelo y aire. Entre los problemas más críticos se encuentran la contaminación por microfibras, el uso de químicos en los procesos textiles y la acumulación de residuos, lo que ha generado graves impactos ambientales. El reciclaje textil y el uso de biopolímeros se presentan como soluciones viables, aunque enfrentan desafíos como la complejidad en la separación de materiales y la falta de infraestructura. La economía circular surge como una estrategia clave para reducir el desperdicio a través del reciclaje, la reutilización y modelos de negocio sostenibles como la reventa y el alquiler de prendas. Para lograr un impacto positivo es fundamental la cooperación entre consumidores, industria y gobiernos mediante educación, innovación tecnológica y políticas ambientales.

Palabras clave: fibras textiles; contaminación; reciclaje textil; economía circular; polímeros biodegradables.

ABSTRACT

The textile industry has evolved from using natural fibers to mass-producing synthetic fibers. Fast fashion has intensified garment consumption and disposal, contributing to water, soil, and air pollution. Among the most critical problems are microplastic contamination, the use of chemicals in textile processes, and waste accumulation, which have generated serious environmental impacts.

1. Centro de Investigación en Química Aplicada.
2. Investigador por México-SECIHTI, Centro de Investigación en Química Aplicada.

Correspondencia
 heidi.fonseca@ciqua.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6861-2412>
 Fecha de recepción
 28 de abril de 2025.
 Fecha de aceptación
 22 de octubre de 2025.

Textile recycling and the use of biopolymers are presented as viable solutions, although they face challenges such as the complexity of separating materials and the lack of infrastructure. The circular economy emerges as a key strategy to reduce waste through recycling, reuse, and sustainable business models such as resale and garment rental. To achieve a positive impact, cooperation between consumers, industry, and governments is essential through education, technological innovation, and environmental policies.

Keywords: *textile fibers; pollution; textile recycling; circular economy; biodegradable polymers.*

INTRODUCCIÓN

La industria textil ha experimentado una transformación importante con la incorporación de polímeros sintéticos y tecnologías avanzadas de procesamiento. Sin embargo, el crecimiento de la moda rápida (*fast fashion*, en inglés) ha ocasionado un incremento en la contaminación ambiental debido al alto consumo de recursos, la generación de residuos textiles y la liberación de microfibras plásticas. La dependencia de materiales derivados del petróleo, junto con las limitaciones en el reciclaje de textiles compuestos, suponen una gran dificultad para la sostenibilidad del sector.

Ante esta problemática, el desarrollo de biopolímeros y procesos innovadores, como la extrusión por soplado en fundido (*melt-blowing*), ofrece una alternativa prometedora para la producción de fibras biodegradables con aplicaciones textiles. Además, la implementación de modelos de economía circular puede optimizar el aprovechamiento de materiales poliméricos, reduciendo el impacto ambiental. Este artículo analiza la contaminación generada por la industria textil desde una perspectiva científica y social, explorando soluciones basadas en nuevos materiales biodegradables y procesos más sostenibles.

FIBRAS TEXTILES

Una fibra textil es un material delgado y flexible, mucho más largo que ancho (Krieger, 2009). La obtención de fibras a partir de diferentes materiales se

divide en dos grupos: fibras hechas por el hombre (artificiales) y fibras provenientes de la naturaleza (Piribauer y col., 2019). Desde inicios de los tiempos, las fibras naturales han sido la base de la industria textil, con ejemplos como el lino en la Suiza prehistórica (8000 a.C.) y el algodón en la India y Pakistán (3000-2000 a.C.). La Revolución Industrial, con innovaciones como la desmotadora de algodón de Eli Whitney (1793), transformó la producción de fibras. En la actualidad, la industria textil se mantiene en constante evolución con el surgimiento de fibras sintéticas y la modificación de las naturales, aunque el algodón conserva su relevancia en el mercado global (Fisher, 1981).

Las aplicaciones de las fibras naturales en esta misma industria han crecido exponencialmente, yendo más allá de la simple vestimenta. Su evolución se ha diversificado hacia una amplia gama de usos técnicos, abarcando sectores como la construcción, el transporte y la alimentación, entre otros (Sanjay y col., 2016).

CONTAMINACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LA MODA (FASHION INDUSTRY POLLUTION)

Hoy en día, se observa una producción en masa de prendas de vestir inspiradas en la alta moda y celebridades, las cuales se venden a precios accesibles, *fast fashion* o “moda rápida”, lo que ocasiona volúmenes altos de desechos de prendas de vestir alrededor de todo el mundo. Este fenómeno se ve favorecido por la necesidad creada de reemplazar o sustituir las prendas de acuerdo con las tendencias de la moda (Chen y col., 2021a).

En nuestro país, durante el año 2021 el incremento de usuarios con acceso a internet alcanzó los 88.6 millones, de esta cantidad 30.1 % llevó a cabo compras de productos y servicios a través de internet (INEGI, 2021), donde el uso del smartphone y la computadora se han convertido en las principales herramientas de acceso a las compras en línea disponibles en las grandes tiendas departamentales con ventajas como comodidad, ofertas exclusivas y disponibilidad 24/7 (PROFECO, 2023). La facilidad de acceso y la variedad de opciones incentivan la adquisición constante de nuevas prendas, alimentando el ciclo del *fast fashion*.

Este fenómeno se refleja claramente en la industria textil, una de las más grandes y abundantes del mundo, cuyo crecimiento exponencial en las últimas décadas ha llevado a un consumo de ropa cada vez mayor. Los textiles se aplican en diversas áreas: médica, alimentaria, automotriz, construcción, del hogar y del vestido (ropa). Las cifras de producción de ropa derivadas de la moda rápida son un claro reflejo de esta tendencia: de 56 mil 560 millones de toneladas de prendas en el año 2000, pasó a 113 mil 476 millones en 2019, este incremento responde a la necesidad de satisfacer la creciente demanda de los consumidores. La producción mundial de textiles se ha duplicado desde 1975, alcanzando los 13 kilogramos por persona en 2018. Sin embargo, de esta vasta producción 92 millones de toneladas de prendas se desechan anualmente a nivel global y se proyecta que esta cifra aumentará a 134 millones para el año 2030 (Kerr y col., 2017). Solamente en los Estados Unidos, por ejemplo, en el año 2018 se desearon o quemaron casi 14 millones de toneladas de ropa, mientras que se reciclaron únicamente 2.5 millones (EPA, 2021).

Es evidente que la sobreproducción contribuye significativamente a la generación de residuos textiles, en parte debido a las prendas no vendidas, agravando la contaminación y el impacto ambiental.

RESIDUOS TEXTILES (*TEXTILE WASTE*)

El impacto ambiental de la industria textil va más allá de la ropa confeccionada y desechada. La manufactura textil exige un elevado consumo de agua y energía, además los procesos de teñido involucran más de 15 mil sustancias químicas empleadas en etapas como pretratamiento, impresión y acabado, donde se generan aguas residuales tóxicas que, a falta de un tratamiento adecuado antes de su vertido, provocan graves daños ambientales (Hasanbeigi y col., 2015). La acumulación de los diferentes residuos textiles en vertederos agrava la contaminación del suelo y del agua (Anguelov, 2015).

CONTAMINACIÓN POR MICROFIBRAS (MICROFIBER POLLUTION)

La industria textil también es una fuente importante de contaminación por microplásticos, específicamente microfibras, liberadas principalmente de la ropa sintética durante su lavado. Las microfibras están constituidas usualmente de materiales como poliamida (NYLON), polietilentereftalato (PET) y polipropileno (PP) (Gago y col., 2018), lo que hace que su descomposición no sea fácil y exista una importante preocupación debido a su permanencia en el medio ambiente. Al día de hoy se ha detectado la presencia de microfibras en la atmósfera, fuentes de agua, sedimentos, suelos y en los océanos, esta contaminación la genera, en su mayoría, la industria textil, aunque también contribuye el lavado doméstico y el vertido de prendas en ríos (Carney Almroth y col., 2018).

Las severas consecuencias de esta contaminación se hacen evidentes en casos como el del río Atoyac, localizado en la región hidrológica del norte de la cuenca Balsas-Mezcala, en el sur de Tlaxcala, México. Desde 1980, las fábricas de ropa y de lavado de mezclilla que están cerca del río han estado vertiendo sus desechos directamente al agua, alterando su coloración a tonos como azul, verde, amarillo, rojo y negro. La combinación de estas descargas industriales con otros contaminantes ha resultado en graves problemas de salud pública en la región, posicionando al río Atoyac como el segundo cuerpo de agua más contaminado en México (Ávila Orta y col., 2022).

EL PROBLEMA DEL RECICLAJE TEXTIL

Para mitigar los efectos derivados de la producción textil es clave comprender la complejidad de una prenda. Como se observa en la Figura 1, ésta no solo está constituida por tejidos, sino también por otros accesorios o elementos como cremalleras, botones, estampados, rellenos y etiquetas, por lo que identificar estos componentes es fundamental para determinar su disposición final adecuada y, así, reducir su impacto ambiental. El reciclaje de textiles representa una solución a esta problemática, destacando el reciclaje mecánico, químico y biológico. El reciclaje mecánico, tritura y deshilacha los tejidos para crear nuevos materiales como rellenos y aislantes (Grando y col.,



2022). Este proceso es más simple y económico, a diferencia del reciclaje químico, el cual descompone los polímeros para obtener materias primas para producir nuevas fibras de alta calidad (Zamani y col., 2015); además, ofrece la ventaja de reciclar tejidos mixtos y obtener materiales de mayor valor, ampliando las aplicaciones de los materiales obtenidos mediante este tipo de reciclaje. Por ejemplo, se utilizan para fabricar materiales de aislamiento térmico para la construcción, en la creación de componentes termomoldeados para la industria automotriz y como refuerzos en materiales estructurales, mejorando su resistencia y durabilidad. Una tercera alternativa emergente es el reciclaje biológico, que utiliza biocatalizadores (enzimas) para descomponer los textiles en componentes monoméricos iniciales, los cuales pueden transformarse en productos como azúcares o bioetanol (Hu y col., 2018). Su principal ventaja radica en la baja demanda de energía, el uso de solventes y químicos más amigables con el ambiente, además de su capacidad de ser altamente selectivo, lo que lo hace prometedor para separar residuos textiles mezclados (Piribauer y col., 2019). Sin embargo, actualmente, solo es aplicable a polímeros naturales (como celulosa o lana), es costoso y sus tiempos de reacción son más lentos (Baloyi y col., 2024).

La Figura 2 presenta los tipos de reciclaje y algunas de sus características. Sin embargo, el reciclaje textil presenta grandes desafíos, como la variedad de materiales y colorantes utilizados en la confección de prendas, desde fibras naturales hasta sintéticas y sus mezclas, lo cual dificulta el proceso de separación y reciclaje, así como la falta de infraestructura adecuada, como plantas de reciclaje especializadas y sistemas de recolección eficientes, lo que obstaculiza el reciclaje textil a gran escala. Además, el material disponible para reciclaje es limitado, ya que la tasa de recolección de textiles usados es baja, debido en parte a la falta de conocimiento de los consumidores sobre cómo reciclar correctamente sus prendas. Desafortunadamente, este proceso de reciclaje no impide que los residuos textiles terminen en los vertederos.



Figura 1. Accesorios y elementos que comprenden una prenda de vestir a considerarse durante el reciclado de la misma.

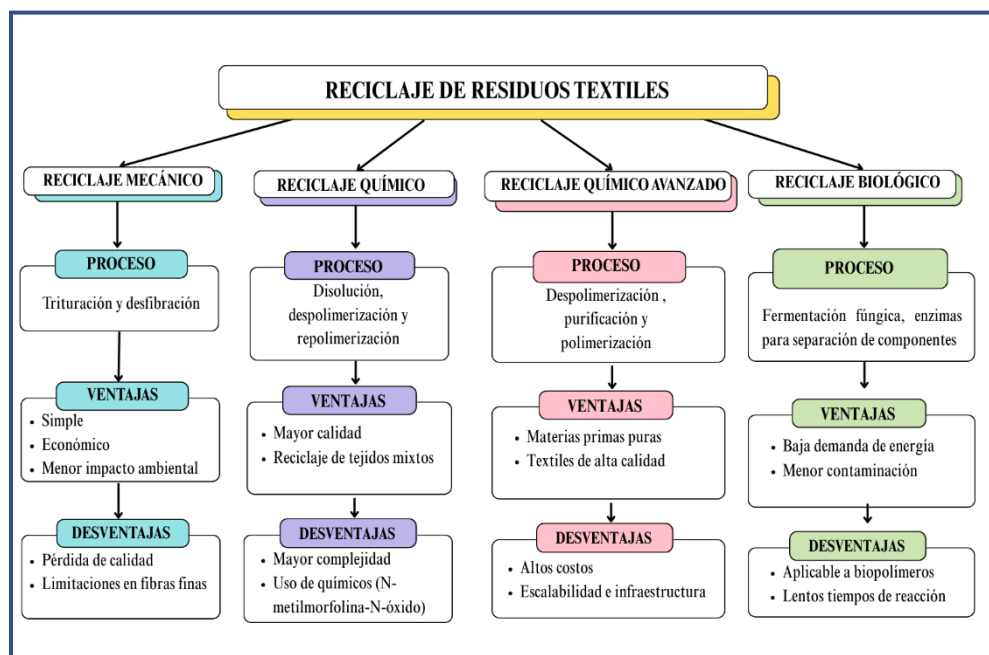


Figura 2. Mapa de ruta de los diferentes tipos de reciclaje para residuos textiles.

BIOPOLÍMEROS

Ante este panorama, se vuelve indispensable la búsqueda de soluciones sostenibles para minimizar la contaminación de la industria textil, contrarrestar

los efectos de la contaminación y disminuir el consumo de productos textiles. Como una alternativa prometedora surgen los polímeros biodegradables, obtenidos de fuentes renovables como plantas, animales y microorganismos (Azammi y col., 2020). Estos materiales generalmente son empleados en el desarrollo de bioplásticos amigables con el medio ambiente, disminuyendo el problema que representa la lenta o nula degradación de los plásticos derivados del petróleo, los cuales han dominado el mercado hasta ahora. La mayoría de los biopolímeros son biodegradables, ya que se descomponen en sustancias naturales como dióxido de carbono, agua, metano y compuestos inorgánicos (Christian, 2020). Algunos de ellos tienen propiedades similares a los plásticos tradicionales, lo que amplía sus usos en diversos campos. Su aplicación específica depende de consideraciones prácticas como el costo, la disponibilidad, la capacidad de absorción de humedad, estabilidad térmica, propiedades mecánicas, velocidad de degradación y la biocompatibilidad, entre otros (Niaounakis, 2015).

BIOPOLIMEROS PROCESADOS POR SOPLADO EN FUNDIDO (MELT-BLOWING)

Una aplicación de los biopolímeros se encuentra en el proceso de extrusión por soplado en fundido. Este método, comúnmente empleado en el procesamiento de plásticos, transforma la materia prima en finas fibras mediante fusión y soplado con aire caliente. Su adaptación en el uso de biopolímeros representa una alternativa sostenible para reemplazar los plásticos tradicionales, minimizando el impacto ambiental de esta industria. Mediante el uso esta técnica se podrían producir telas no tejidas biodegradables con una diversidad de aplicaciones textiles, incluyendo el sector médico, higiene, industrial, filtración, absorbentes y cuidado personal (Dutton, 2009).

Recientes investigaciones han desarrollado biotextiles sustentables mediante la combinación de ácido poliláctico (ácido poli láctico, poly lactic acid, PLA) y almidón termoplástico (thermoplastic starch, TPS) con el propósito de proveer una alternativa más amigable con el medio ambiente, destacando la biodegradabilidad, bajos costos, entre otros, a través de la mejora en la compatibilidad de la mezcla PLA/TPS, mediante la modificación química por extrusión reactiva (reactive extrusion, REX) del almidón, lo que permite el procesamiento y la producción de tela no-tejida por la técnica de *melt-blowing* (Ávila-Orta y col., 2023). Recientemente, en el grupo de investigación se han



funcionalizado nanopartículas de carbono (CNP) a través de un tratamiento por plasma para su adición a la mezcla PLA/TPS y con esto conferir mejoras en las propiedades mecánicas y eléctricas (Figura 3), para otorgar mayor resistencia y conductividad a la tela no tejida, respectivamente. Su posible aplicación estaría implementada en textiles electrónicos, conocidos como e-textiles. Por ejemplo, en el sector de la salud, permiten el monitoreo continuo de signos vitales, facilitando el seguimiento de pacientes y la detección temprana de problemas. En el deporte, proporcionan datos precisos para optimizar el rendimiento de los atletas. En seguridad, protegen a trabajadores en entornos peligrosos y a personal de emergencia a detectar riesgos; estas son solo algunas de las muchas aplicaciones posibles. Esta mejora técnica es crucial para avanzar hacia la sostenibilidad en la industria textil, en respuesta a los crecientes problemas ambientales.

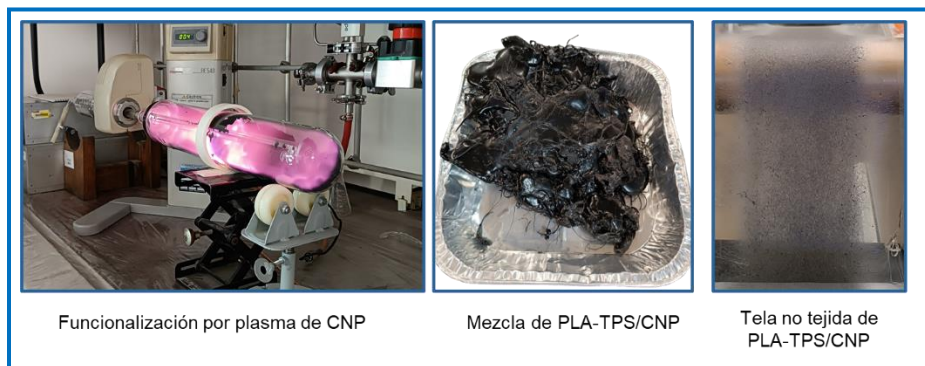


Figura 3. Proceso para la obtención de tela no tejida de mezclas de PLA-TPS/CNP mediante la funcionalización de la CNP, el mezclado en fundido y el procesamiento *melt-blowing*.

ECONOMÍA CIRCULAR

La economía circular emerge como otra medida fundamental para abordar la problemática ambiental dada por los textiles. A diferencia del sistema económico lineal actual, basado en el consumo y desecho constante, la economía circular busca crear un ciclo donde los recursos se transforman y reutilizan, inspirándose en los ciclos naturales (Gardetti, 2019). La producción de ropa depende en gran medida de materiales que se agotan como los combustibles fósiles, precisamente, más de 68 % de las fibras utilizadas hoy en día provienen de estas fuentes, y posteriormente terminan en la basura, ya sea en vertederos o incineradas. Desde el punto de vista económico,

anualmente se desperdician más de 183 millones de dólares en ropa que se tira a la basura (Wrap, 2015).

Diversas empresas están adoptando estrategias para mitigar este impacto, un ejemplo notable es la implementación por parte de la marca H&M con puntos de recolección de ropa en todas sus tiendas a nivel mundial, con el objetivo de simplificar el proceso de reciclaje textil. Esta iniciativa permite la recepción de una amplia variedad de prendas y textiles, independientemente de su marca o estado. Los clientes pueden depositar sus prendas no deseadas en estos contenedores ubicados dentro de las tiendas, facilitando así la reutilización y el reciclaje de los materiales textiles (H&M, 2013).

A nivel global, países como Alemania han implementado sistemas de recolección de textiles enfocados en la reutilización, principalmente a través de la exportación a naciones en desarrollo (Morlet, 2017). Si bien esta práctica extiende la vida útil de las prendas, un sistema verdaderamente responsable requiere la participación de una sociedad consciente del medio ambiente, donde la reutilización se convierta en una norma. En este contexto, la reventa y el alquiler sobresalen como estrategias con doble beneficio: económico y ambiental. Considerando que la vida útil promedio de la ropa social oscila entre siete y diez usos antes de su descarte (Armour, 2015), estas alternativas como la reventa y el alquiler pueden prolongar significativamente su ciclo de vida y reducir el impacto ambiental. No obstante, para lograr un cambio sostenible, es crucial reeducar a la sociedad. Esto implica fomentar un consumo más consciente a través de programas educativos ambientales y promover modelos de negocio como la reventa y el alquiler, que ofrecen incentivos económicos (Chen y col., 2021b). Al integrar estas estrategias se pueden generar impactos positivos importantes.

CONCLUSIONES

La industria textil ha evolucionado desde el uso de fibras naturales hasta la incorporación masiva de fibras sintéticas, lo que ha generado graves problemas ambientales. El modelo de "moda rápida" ha impulsado el consumo excesivo y la acumulación de residuos textiles, aumentando la contaminación del agua, suelo y aire, además de un elevado consumo de

recursos. Uno de los mayores impactos es la contaminación por microfibras provenientes de textiles sintéticos, que afectan los ecosistemas acuáticos. Además, el uso de sustancias químicas en el teñido y acabado de telas contribuye a la contaminación del agua. El reciclaje textil surge como una solución, pero enfrenta desafíos debido a la composición mixta de las prendas y la falta de infraestructura. Los biopolímeros representan una alternativa sostenible, permitiendo la producción de textiles biodegradables y reduciendo la dependencia del petróleo.

La economía circular es clave para minimizar el desperdicio de textiles mediante la reutilización, reciclaje, incorporación de biopolímeros sustentables y modelos de negocio como la reventa y el alquiler de prendas. Un cambio hacia prácticas más sostenibles requiere la colaboración de productores y consumidores, apoyado por innovación tecnológica, políticas ambientales y educación.

REFERENCIAS

- Anguelov, N. (2015). The Dirty Side of the Garment Industry: Fast Fashion and Its Negative Impact. *Modern Language Studies*. 46(1): 87-89.
- Armour R. (2015). Once worn thrice shy - women's wardrobe habits exposed. [En línea]. Disponible en: <https://tfn.scot/news/once-worn-thrice-shy-womens-wardrobe-habits-exposed>. Fecha de consulta: 30 de marzo 2025.
- Ávila Orta, C. A., Hernández Rodríguez, M. de L., & Lozano Morales, S. A. (2022). Río Atoyac: hacia una gestión integral de una problemática multifactorial: 25-28. <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/669>
- Ávila-Orta, C. A., Covarrubias-Gordillo, C. A., Fonseca-Flrido, H. A., Melo-López, L., Radillo-Ruiz, R., & Gutiérrez-Montiel, E. (2023). PLA/modified-starch blends and their application for the fabrication of non-woven fabrics by melt-blowing. *Carbohydrate Polymers*, 316: 120975. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120975>
- Azammi, A. N., Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., Ibrahim, R., Atikah, M. S. N., Asrofi, M., & Atiqah, A. (2020). Characterization studies of biopolymeric matrix and cellulose fibresbased composites related to functionalized fibre-matrix interface. *Interfaces in Particle and Fibre Reinforced Composites From Macro to Nano Scales*: 29-93. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102665-6.00003-0>

- Baloyi, R. B., Gbadeyan, O. J., Sithole, B., & Chunilall, V. (2024). Recent advances in recycling technologies for waste textile fabrics: a review. *Textile Research Journal*, 94 (3-4): 508-529.
- Carney Almroth, B. M., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H., Johansson, M., y Persson, N. K. (2018). Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2): 1191–1199. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0528-7/figures/4>
- Chen, X., Memon, H. A., Wang, Y., Marriam, I., & Tebyetekerwa, M. (2021a). Circular economy and sustainability of the clothing and textile industry. *Materials Circular Economy*, 3(1): 1-9. <https://doi.org/10.1007/S42824-021-00026-2>
- Chen, X., Memon, H. A., Wang, Y., Marriam, I., & Tebyetekerwa, M. (2021b). Circular economy and sustainability of the clothing and textile industry. *Materials Circular Economy*, 3(1): 1-9. <https://doi.org/10.1007/S42824-021-00026-2>
- Christian, S. J. (2020). Natural fibre-reinforced noncementitious composites (biocomposites). *Nonconventional and Vernacular Construction Materials: Characterisation, Properties and Applications*: 169–187. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102704-2.00008-1>
- Dutton, K. C. (2009). Overview and Analysis of the Meltblown Process and Parameters. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 6(1); 1-3. <https://jttm.textiles.ncsu.edu/index.php/JTATM/article/view/342>
- EPA, Environmental Protection Agency. (2021). Textiles: Material-Specific Data. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/textiles-material-specific-data>. Fecha de consulta: 03 de marzo 2025.
- Fisher, C. H. (1981). History of Natural Fibers. *Journal of Macromolecular Science—Chemistry*, 15(7): 1345–1375. <https://doi.org/10.1080/00222338108056788>
- Gardetti, M. A. (2019). Introduction and the concept of circular economy. *Circular Economy in Textiles and Apparel: Processing, Manufacturing, and Design*: 1–11. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102630-4.00001-7>
- Gago, J., Carretero, O., Filgueiras, A. V., & Viñas, L. (2018). Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments. *Marine pollution bulletin*, 127: 365-376. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.070>
- Grando, F. S., Sette, S. K., Colpani, G. L., De Mello, J. M. M., & Silva, L. L. (2022). Reciclagem de resíduos têxteis: uma revisão. *Brazilian Journal of Development*: 57050–57067. <https://doi.org/10.34117/BJDV8N8-146>
- Hasanbeigi, A., y Price, L. (2015). A technical review of emerging technologies for energy and water efficiency and pollution reduction in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 95: 30–44. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.079>

- H&M, Hennes & Mauritz (2013). Recolección y reciclaje de ropa. [En línea]. Disponible en: https://www2.hm.com/es_mx/customer-service/product-and-quality/garment-collecting-recycling.html?srsltid=afmbooo5p1_lknq4uxwzb2s8jyfxowweyqjh7vrgrix_csirrozuqvi. Fecha de consulta: 13 de marzo 2025.
- Hu, Y., Du, C., Leu, S. Y., Jing, H., Li, X., & Lin, C. S. K. (2018). Valorisation of textile waste by fungal solidstate fermentation: An example of circular waste-based biorefinery. *Resources, Conservation and Recycling*, 129: 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.024>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2021/>. Fecha de consulta: 11 de marzo 2025.
- Kerr, J. y Landry, J. (2017). Pulse of the Fashion Industry - Global Fashion Agenda. [En línea]. Disponible en: <https://globalfashionagenda.org/pulse-of-the-industry/>. Fecha de consulta: 03 de marzo 2025.
- Krieger, A. P. (2009). Terminology of man-made fibres. [En línea]. Disponible en: https://bisfa.org/Terminology_of_man-m. Fecha de consulta: 03 de marzo 2025.
- Morlet, A. O. (2017). A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future. [En línea]. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>. Fecha de consulta: 30 de marzo 2025.
- Niaounakis, M. (2015). Biopolymers: Applications and trends. *Biopolymers: Applications and Trends*: 1–604. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-00936-7>
- Piribauer, B., & Bartl, A. (2019). Textile recycling processes, state of the art and current developments: A mini review. *Waste Management and Research*, 37(2): 112–119. <https://doi.org/10.1177/0734242X18819>
- PROFECO, Procuraduría Federal del Consumidor (2023). La compra en línea o en tienda, ventajas y desventajas, en www.gob.mx. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/documentos/la-compra-en-linea-o-en-tienda-ventajas-y-desventajas?state=published>. Fecha de consulta: 11 de marzo 2025.
- Sanjay, M. R., Arpitha, G. R., Naik, L. L., Gopalakrishna, K., & Yogesha, B. J. N. R. (2016). Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. *Natural resources*, 7(3): 108-114. <https://doi.org/10.4236/nr.2016.73011>
- Wrap, Worldwide Responsible Accredited Production (2015). Household Waste Prevention Hub: Re-use - Clothing. [En línea]. Disponible en: <https://www.wrap.ngo/content/clothing-waste-prevention>. Fecha de consulta: 04 de marzo 2025.

Zamani, B., Svanström, M., Peters, G., & Rydberg, T. (2015). A Carbon Footprint of Textile Recycling: A Case Study in Sweden. *Journal of Industrial Ecology*, 19(4): 676–687. <https://doi.org/10.1111/jiec.12208>

APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE PERSONAS EN RIESGO DE DIABETES

APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO DETECT INDIVIDUALS AT RISK OF DIABETES

BRENDA MARGARITA SALAS RAMOS¹

IRMA DELIA GARCÍA CALVILLO²

JESÚS ALEJANDRO NAVARRO ACOSTA²

GLORIA ISELA MENDOZA FRÍAS³

RESUMEN

La diabetes mellitus es una enfermedad crónica caracterizada por la hiperglucemia, derivada de una producción insuficiente de insulina o de la incapacidad del organismo para utilizarla de forma eficaz. Esta condición genera complicaciones graves como enfermedades cardiovasculares, insuficiencia renal y neuropatías. Según la Organización Mundial de la Salud, el número de personas que viven con diabetes pasó de 200 millones en 1990 a más de 830 millones en 2022, lo que subraya su impacto en la salud pública. La detección temprana es esencial para reducir la progresión y complicaciones de la enfermedad. El presente estudio tiene como objetivo predecir el riesgo de diabetes en personas a partir de datos clínicos y de encuestas recolectados en centros de salud del municipio de Saltillo, México, utilizando algoritmos de *Machine Learning* (ML). La base de datos fue proporcionada por el Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas de la Universidad Autónoma de Coahuila. Se implementaron cinco algoritmos: *Support Vector Machine*, *Logistic Regression*, *Random Forest*, *Multilayer Perceptron* y *K-Nearest Neighbors* evaluando su capacidad predictiva. Los modelos mostraron un desempeño adecuado en la clasificación de individuos sin riesgo de diabetes y una menor sensibilidad en la identificación de personas con riesgo. Esta limitación se asocia principalmente al desbalanceo de clases y a la naturaleza de los datos basados en encuestas. Actualmente, se desarrolla una nueva base de datos balanceada con registros clínicos que permitirá optimizar el rendimiento de los modelos. Los resultados confirman el potencial de las técnicas de ML como herramientas de apoyo en la detección temprana de diabetes. Esta investigación busca generar un modelo predictivo adaptado al contexto local de Saltillo para ofrecer una alternativa innovadora que podría ser escalable a otros entornos de atención médica.

Palabras clave: diabetes; inteligencia artificial; *Machine Learning*.

1. Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarias, Unidad Sureste, UAdeC.
2. Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Unidad Sureste, UAdeC.
3. Hospital Universitario "Dr. Gonzalo Valdés Valdés", Unidad Sureste, UAdeC.

Correspondencia
b_salas@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0009-5218-7712>
Fecha de recepción
5 de junio de 2024.
Fecha de aceptación
22 de octubre de 2025.

ABSTRACT

Diabetes mellitus is a chronic disease characterized by hyperglycemia, resulting from insufficient insulin production or the body's inability to use it effectively. This condition leads to serious complications such as cardiovascular diseases, kidney failure, and neuropathies. According to the World Health Organization, the number of people living with diabetes increased from 200 million in 1990 to more than 830 million in 2022, highlighting its impact on public health. Early detection is essential to reduce disease progression and complications. The present study aims to predict the risk of diabetes in individuals based on clinical and survey data collected from health centers in the municipality of Saltillo, Mexico, using Machine Learning (ML) algorithms. The database was provided by the Center for Research in Applied Mathematics of the Autonomous University of Coahuila. Five algorithms were implemented: Support Vector Machine, Logistic Regression, Random Forest, Multilayer Perceptron, and K-Nearest Neighbors, evaluating their predictive capacity. The models showed adequate performance in classifying individuals without risk of diabetes, while exhibiting lower sensitivity in identifying those at risk. This limitation is mainly associated with class imbalance and the survey-based nature of the data. A new balanced database with clinical records is currently being developed to optimize model performance. The results confirm the potential of ML techniques as support tools for the early detection of diabetes. This research seeks to generate a predictive model adapted to the local context of Saltillo, offering an innovative alternative that could be scalable to other healthcare settings.

Keywords: diabetes, artificial intelligence, Machine Learning.

INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus es una de las enfermedades crónicas más prevalentes a nivel mundial, con un impacto significativo en la salud pública. Existen dos tipos de diabetes principalmente, la diabetes tipo 1 y la diabetes tipo 2. La diabetes tipo 1 es una enfermedad autoinmune que suele presentarse en la infancia o adolescencia y se caracteriza por la destrucción de las células pancreáticas, lo que provoca una deficiencia absoluta de insulina y la necesidad de tratamiento sustitutivo de por vida. La diabetes tipo 2 se asocia

principalmente con resistencia a la insulina y producción pancreática insuficiente, vinculada a factores de riesgo como obesidad, sedentarismo y antecedentes familiares, y generalmente se presenta en los adultos (ADA, 2022, WHO, 2023). Según la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2023), en 2022 más de 830 millones de personas vivían con esta enfermedad, cifra que se ha cuadruplicado desde 1990. En México, la situación es alarmante: de acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT), la diabetes es una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en el país (Rojas-Martínez y col., 2024). Uno de los mayores retos radica en la alta proporción de casos no diagnosticados o que son detectados en etapas avanzadas, lo que incrementa la aparición de complicaciones graves (enfermedades cardiovasculares, neuropatías y daño renal) y genera una carga significativa para el sistema de salud (Arredondo y col., 2020; Barquera y col., 2021).

Ante este panorama, resulta fundamental desarrollar herramientas que permitan mejorar la detección temprana de la diabetes. En los últimos años, los algoritmos de *Machine Learning* (ML) han mostrado resultados prometedores en el análisis de grandes volúmenes de información clínica y demográfica, con aplicaciones exitosas en la identificación temprana de diversas enfermedades (Oladimeji y col., 2021; Muhammad y col., 2020; Gulshan y col., 2016). Estas tecnologías permiten identificar patrones complejos en los datos que no siempre son evidentes mediante métodos estadísticos tradicionales, lo que las convierte en un recurso valioso para el diagnóstico temprano y la predicción de riesgos en salud.

La presente investigación tiene como objetivo aportar en el desarrollo de una herramienta predictiva, aplicando algoritmos de ML a una base de datos previamente recolectados en una clínica de salud del municipio de Saltillo, México. Dicha base fue generada mediante encuesta validada por médicos del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y aplicadas por médicos residentes (De la Rosa-De León y col., 2024), coordinada por el Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas (CIMA) de la Universidad Autónoma de Coahuila. Se presentan los resultados y el desempeño de estos modelos en la clasificación de pacientes con y sin riesgo de diabetes, con el fin de apoyar la capacidad diagnóstica del sector salud local.



MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo, se utilizó un enfoque sistemático basado en los pasos para el desarrollo de un modelo predictivo descrito por Guleria (2019), como se muestra en la figura 1. Este enfoque proporciona una guía estructurada para la preparación de los datos, la selección de algoritmos, el entrenamiento de los modelos y la evaluación de su desempeño.

El análisis se realizó sobre la base de datos generada a partir de encuestas a pacientes de una clínica de salud del municipio de Saltillo, la cual incluyó preguntas sobre características demográficas, antecedentes médicos y hábitos de salud relevantes para la diabetes (De la Rosa-De León y col., 2024).

La base de datos contiene información de 1903 pacientes: 976 de sexo femenino y 915 de sexo masculino, con edades comprendidas entre 15 y 84 años. Se registraron variables como género, edad, ciudad de origen, escolaridad, ocupación, peso, estatura, índice de masa corporal, presión arterial, antecedentes de diabetes, niveles de glucosa y hemoglobina glucosilada, consumo de refrescos, triglicéridos, colesterol, síntomas relacionados con diabetes y actividad física. En esta base de datos existe un desbalanceo en la cantidad de personas reportadas con diabetes ($\approx 37\%$) y las que no tienen diabetes ($\approx 63\%$).

Los datos fueron sometidos a un preprocesamiento que incluyó la imputación estadística de valores faltantes, normalización y estandarización de variables numéricas, y codificación de variables categóricas para garantizar la compatibilidad con los algoritmos de *Machine Learning*. Posteriormente, la base se dividió en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba, asegurando la representatividad de las clases.

Se seleccionaron cinco algoritmos de *Machine Learning* ampliamente utilizados: Support Vector Machine (SVM), Logistic Regression (LR), Random Forest (RF), Multilayer Perceptron (MLP) y K-Nearest Neighbors (KNN). Cada modelo fue entrenado y optimizado mediante validación cruzada y ajuste de hiperparámetros.

Los registros de la base de datos fueron divididos aleatoriamente en conjunto de entrenamiento (80 %) y conjunto de prueba (20 %). El conjunto de entrenamiento se empleó para ajustar los parámetros del modelo y hacer validación cruzada. El conjunto de prueba se mantuvo aislado durante el

entrenamiento y es el que proporciona una estimación de la capacidad predictora del modelo, mediante métricas como precisión, exhaustividad, exactitud y F1-Score.

La programación se realizó en el lenguaje Python (versión 3) utilizando librerías especializadas, la ejecución de modelos se llevó a cabo en un equipo con sistema operativo Windows 10 Pro de 64 bits, procesador Intel Core i7 DE 2.8 GHZ, 16 GB de memoria RAM.

El desempeño de los algoritmos se evaluó mediante algunas métricas de clasificación, permitiendo comparar la capacidad de cada técnica para identificar correctamente a pacientes con y sin riesgo de diabetes.

RESULTADOS

El desempeño de los modelos de ML se evaluó mediante las métricas precisión, exhaustividad, F1-Score y exactitud, considerando por separado la clase 0 (sin riesgo de diabetes) y la clase 1 (con riesgo de diabetes).

Para la clase 0, los modelos mostraron un buen desempeño. La precisión se mantuvo por debajo del 80 % en todas las técnicas, mientras que la exhaustividad superó el 90 % en todos los algoritmos, excepto en K-Nearest Neighbors (KNN). El F1-Score se ubicó por encima del 80 % y la exactitud estuvo por encima del 70 %, esto se muestra en la Figura 1.

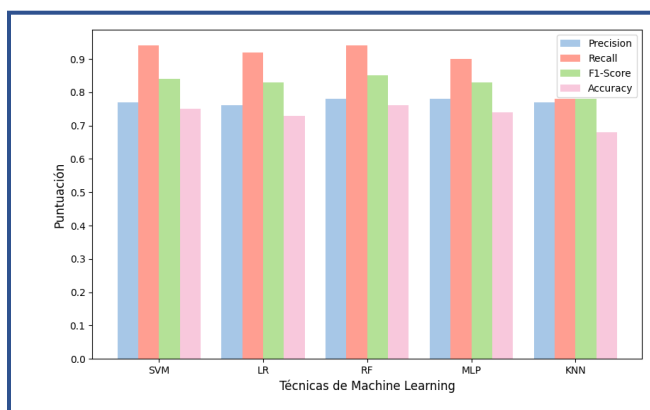


Figura 1. Gráfica de comparación de porcentajes obtenidos en las métricas (precisión, exhaustividad, F1-Score y exactitud) para los cinco modelos de ML para la clase 0 (sin riesgo de diabetes).

En contraste, para la clase 1, los resultados fueron considerablemente más bajos. La precisión osciló entre 40 y 60 %, mientras que la exhaustividad se situó entre 25 y 35 %, indicando que un gran número de pacientes con riesgo no fue identificado. El F1-Score se encontró entre 30 y 40 %, y la exactitud global se mantuvo por encima del 70 %, esto se muestra gráficamente en la Figura 2.

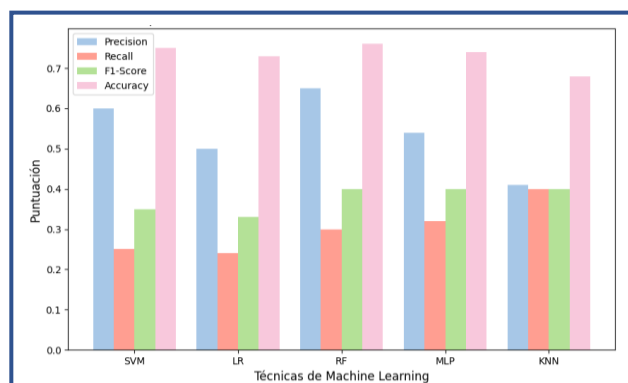


Figura 2. Gráfica de comparación de porcentajes obtenidos en las métricas (precisión, exhaustividad, F1-Score y exactitud) para los cinco modelos de ML para la clase 1 (con riesgo de diabetes).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que las técnicas de ML evaluadas fueron eficaces para identificar correctamente a los pacientes sin riesgo de diabetes en una base de datos desbalanceada y obtenida mediante encuestas. Sin embargo, todas las técnicas presentaron un desempeño limitado para clasificar correctamente a los pacientes con riesgo de diabetes, con valores de exhaustividad y F1-Score bajos, lo que refleja la dificultad de los modelos al trabajar con clases minoritarias. Este hallazgo coincide con estudios previos que destacan que los modelos de ML tienden a favorecer la clase mayoritaria cuando se entrenan con datos desbalanceados (Chawla y col., 2002; He & Garcia, 2009).

El bajo desempeño en la identificación de pacientes con riesgo de diabetes subraya la importancia de contar con bases de datos equilibradas y de calidad, con información obtenida directamente de archivos clínicos, que proporcionen medidas objetivas y precisas. Estudios recientes en predicción de diabetes con datos clínicos han mostrado que técnicas como *Random Forest*



y *XGBoost* pueden obtener mejores resultados cuando la base está balanceada y se aplican estrategias de manejo de desbalanceo, como sobremuestreo o ponderación de clases (Rana y col., 2020; Zhang y col., 2021).

Estos hallazgos motivan la continuación de la investigación utilizando técnicas de ML que tengan un buen desempeño en bases desbalanceadas, así como la recolección de datos de archivos clínicos en otra institución de salud en Saltillo, buscando una base balanceada de pacientes diabéticos y no diabéticos.

CONCLUSIONES

Las técnicas de ML evaluadas fueron eficaces para identificar pacientes sin riesgo de diabetes, pero mostraron un bajo desempeño al clasificar pacientes con riesgo, especialmente en bases desbalanceadas.

Los resultados destacan la necesidad de bases de datos balanceadas y de calidad clínica, así como de la aplicación de técnicas de ML adaptadas a datos desbalanceados, para garantizar una clasificación precisa.

El estudio sienta las bases para futuras investigaciones orientadas a crear una herramienta predictiva eficiente, que permita al sector salud de la región detectar a pacientes con riesgo de diabetes de manera temprana y asistir a los médicos en la toma de decisiones para prevenir complicaciones derivadas de la enfermedad.

REFERENCIAS

- American Diabetes Association (ADA). (2022). Standards of Medical Care in Diabetes -2022. *Diabetes Care*, 45: S1-S2. <https://doi.org/10.2337/dc22-SINT>
- Arredondo, A., Orozco, E., & Alcalde-Rabanal, J. (2020). Health care costs and financial consequences of epidemiological changes in chronic diseases in Latin America: Evidence from Mexico. *BMC Public Health*, 20: 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09315-2>

- Barquera, S., Hernández-Barrera, L., Trejo-Valdivia, B., Shamah-Levy, T., Campos-Nonato, I., & Rivera-Dommarco, J. (2021). Diabetes in Mexico: Cost and management of care. *Annals of Global Health*, 87:1–9. <https://doi.org/10.5334/aogh.3174>
- Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16, 321–357. <https://doi.org/10.1613/jair.953>
- De la Rosa-De León, H., Navarro-Acosta, J. & García Calvillo, I. (2024). Aprendizaje automático aplicado a la detección temprana de Diabetes mellitus tipo 2: Caso Saltillo, México. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 12: 1-24.
- Guleria, K., Prasad, D. & Kadyan, V. (2019). Detection of diabetic patterns using supervised learning. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9: 1169–1173.
- Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., Narayanaswamy, A., Venugopalan, S., Widner, K., Madams, T., Cuadros, J., Kim, R., Raman, R., Nelson, P. C., Mega, J. L., & Webster, D. R. (2016). Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA*, 316: 2402–2410. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>
- He, H., & García, E. A. (2009). Learning from Imbalanced Data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 21: 1263–1284. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2008.239>
- Muhammad, L., Algehyne, E. & Usman, S. (2020) Predictive Supervised Machine Learning Models for Diabetes Mellitus. *SN Computes Science*, 1:240. <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00250-8>
- Oladimeji, O. Oladimeji, A & Oladimeji, O. (2021) Classification models for likelihood prediction of diabetes at early stage using feature selection. *Applied Computing and Informatic*, 21: 279–286.
- Rana, M., Lee, Y., & Lee, S. (2020). Prediction of type 2 diabetes using machine learning algorithms in a large population-based cohort. *Scientific Reports*, 10: 21038. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77659-1>
- Rojas-Mtz, R., Escamilla-Nuñez, C., Castro-Porras, L., Gómez-Velasco, D., Romero-Martínez, M., Hernández-Serrato, M., López-Ridaura, R., Díaz, M. & Aguilar-Salinas, C. (2024) Detección oportuna de prediabetes y diabetes. *Salud pública de México*. 66: 520–529. <https://doi.org/10.21149/15837>
- World Health Organization (WHO). (2023). Diabetes. WHO. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- Zhang, Z., Beck, M. W., Winkler, D. A., Huang, B., Sibanda, W., & Goyal, H. (2021). Opening the black box of neural networks: methods for interpreting model prediction. *BMJ*, 372: 159. <https://doi.org/10.1136/bmj.n159>

REVALORACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS MEDIANTE TECNOLOGÍAS VERDES: OBTENCIÓN DE MATERIALES CELULÓSICOS PARA APLICACIONES SOSTENIBLES

*VALORIZATION OF AGRICULTURAL RESIDUES USING
GREEN TECHNOLOGIES: EXTRACTION OF CELLULOSIC
MATERIALS FOR SUSTAINABLE APPLICATIONS*

GABRIELA Y. ROMERO ZÚÑIGA

FLORENTINO SORIANO CORRAL

RESUMEN

Los residuos agrícolas representan una fuente subutilizada de biomasa lignocelulósica con alto potencial para el desarrollo de materiales con aplicaciones avanzadas. Específicamente, la celulosa es un biopolímero que se encuentra presente en las fibras vegetales de tallos, hojas, cáscaras, etc. Este biopolímero puede ser extraído mediante procesos tecnológicos sostenibles que reducen el impacto ambiental asociado. La presente revisión expone las tecnologías verdes más utilizadas para la obtención de materiales celulósicos, como es el tratamiento hidrotermal por explosión de vapor, la radiación de microondas y los procesos biológicos enzimáticos. Se destacan ventajas y principales aplicaciones, las cuales se enfocan en el desarrollo de plásticos biodegradables, remediación del medio ambiente, tratamiento de agua y fabricación de materiales híbridos para construcción. Estas tecnologías y aplicaciones impactan significativamente en la economía circular, ya que fomentan la valorización de residuos agrícolas, contribuyendo al cumplimiento de la Agenda 2030, en apego a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la reducción de la huella de carbono asociada a los procesos de obtención de materiales celulósicos mediante los métodos convencionales. Esta revisión pretende servir como una guía integral para investigadores y profesionales interesados en la transición hacia procesos de extracción de celulosa más sostenibles y su aplicación en el desarrollo de productos de alto valor agregado, en alineación con los principios de la economía circular.

Palabras clave: residuos agrícolas; biomasa; celulosa; economía circular; tecnologías verdes.

Departamento de Procesos de
Transformación de Plásticos,
Centro de Investigación en
Química Aplicada.

Correspondencia
romero.gabriela.pd@ciqa.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7728-533X>
Fecha de recepción
9 de septiembre de 2025.
Fecha de aceptación
4 de octubre de 2025.

ABSTRACT

Agricultural waste represents an underutilized source of lignocellulosic biomass with high potential for the development of materials with advanced applications. Specifically, cellulose is a biopolymer found in plant fibers from stems, leaves, husks and other agricultural remnants. It can be extracted through sustainable technological processes that reduce the associated environmental impact. This review presents the most widely used green technologies for obtaining cellulosic materials, including hydrothermal steam explosion treatment, microwave radiation, and enzymatic biological processes. Their advantages and main applications are highlighted, with a focus on the development of biodegradable plastics, environmental remediation, water treatment, and the fabrication of hybrid construction materials. These technologies and applications have a significant impact on the circular economy, as they promote the valorisation of agricultural waste, contribute to the fulfilment of the 2030 Agenda's Sustainable Development Goals, and reduce the carbon footprint associated with cellulose production through conventional methods. This review aims to serve as a comprehensive guide for researchers and professionals interested in the transition toward more sustainable cellulose extraction processes and their application in the development of high-value-added products, aligned with the principles of the circular economy.

Keywords: *agricultural residues; biomass; cellulose; circular economy; green technologies.*

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad económica primordial para el desarrollo de la sociedad, sin embargo, es un sector que, año con año, genera una gran cantidad de residuos lignocelulósicos, como tallos, plantas, bagazo, cascara y hojas (Jayaprakash y col., 2022). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se estima que la producción mundial de residuos agrícolas supera los cinco mil millones de toneladas anuales; los cuales principalmente provienen de la siembra de maíz, arroz, trigo, caña de azúcar, agave, plátano, entre otros. Por lo general,

estos residuos solían considerarse desechos sin valor y en muchos casos se eliminaban mediante quema o descomposición incontrolada, contribuyendo a la contaminación del medio ambiente y a la huella de carbono. No obstante, en los últimos años los desechos agrícolas se han aprovechado para la producción de biogás, biocombustibles, fertilizantes, alimentación animal y en otros productos de valor agregado (Gaffey y col., 2023). A pesar de estos avances tecnológicos, estas aplicaciones no aprovechan completamente el valor estructural de la biomasa lignocelulósica contenida en los residuos agrícolas. Específicamente, los residuos agrícolas están formados por fibras naturales vegetales, constituidas principalmente por celulosa. La celulosa es un biopolímero con propiedades fisicoquímicas adecuadas para el desarrollo de materiales avanzados con aplicaciones en la remediación de agua contaminada, fabricación de celdas solares, materiales biomédicos, textiles y en la fabricación de biocompuestos poliméricos (Mendoza-Tolentino y col., 2025; Romero-Zúñiga y col., 2022).

Tradicionalmente, la celulosa se obtiene mediante métodos convencionales basados en tratamientos químicos agresivos en donde se utilizan soluciones alcalinas fuertes y ácidos concentrados (Samanth & Subrahmanya Bhat, 2023). A pesar de que estos procesos logran separar la celulosa de otros polisacáridos (hemicelulosa y lignina), su aplicación resulta no viable debido a la generación de residuos tóxicos y al elevado consumo energético. Ante esta problemática, han emergido tecnologías más limpias que permiten obtener materiales celulósicos sin generar un impacto ambiental significativo, como la explosión hidrotermal por vapor, la radiación de microondas y los procesos biológicos enzimáticos.

CELULOSA: RECURSO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

La celulosa es un biopolímero abundante en la naturaleza formado por la polimerización escalonada de unidades monoméricas repetitivas de glucosa (Singh y col., 2024). Cuenta con estructuras hidroxílicas, lo cual permite modificarla químicamente para sintetizar sus derivados, como el éter de celulosa (Shen, 2009) o bien, para modificarla químicamente con otros grupos funcionales. Así como con un alto grado de polimerización (300 a 1700) lo cual lo vuelve un material insoluble; y presenta dos regiones: una

cristalina y un amorfa (Samanth & Subrahmanya Bhat, 2023). La región cristalina presenta una disposición de cadenas ordenadas, mientras que la región amorfa se encuentra desordenada (Romero-Zúñiga y col., 2022). Además, es un material biodegradable y biocompatible, y debido a su versatilidad es utilizado en diversos sectores industriales, desde cosmética hasta material de refuerzo para el desarrollo de compuestos poliméricos.

La celulosa puede encontrarse en forma casi pura, como el algodón, que contiene hasta un 90 % en peso de celulosa; sin embargo, una de las formas más accesibles y abundantes de obtenerla es a partir de los residuos agrícolas. Diversas fibras naturales contienen altos porcentajes de celulosa: cáñamo (75 a 80 % en peso), yute (60 a 65 % en peso), bambú (40 a 55 % en peso), paja (40 a 50 % en peso) y madera (40 a 50 % en peso) (Jayaprakash y col., 2022b). A nivel mundial, uno de los residuos que más se produce anualmente es la fibra de madera, aproximadamente 1.750.000 kt, seguida por la borra de algodón (18.450 kt), yute (2.300 kt), bambú (10.000 kt), entre otras (Heinze, 2016; Singh y col., 2024).

En los residuos lignocelulósicos, la celulosa no se encuentra aislada, ya que forma parte de un arreglo helicoidal vegetal junto con otros polisacáridos, como la hemicelulosa, lignina y pectinas (Figura 1). Cada uno de estos polisacáridos presenta distintas propiedades, por lo que su separación selectiva es esencial para aprovechar cada una de ellas (Jayaprakash y col., 2022). Por lo general, la extracción de celulosa se realiza mediante métodos químicos agresivos, como tratamientos con bases fuertes o ácidos concentrados, los cuales logran separar la celulosa de los otros componentes lignocelulósicos, sin embargo, generan residuos tóxicos, consumen grandes cantidades de energía, degradan la fase cristalina que compone a la celulosa, los materiales celulósicos obtenidos presentan una calidad menor, y además se deben de utilizar tratamientos secundarios para eliminar el rastro de las soluciones ácidas o básicas remanentes (Jagadeesh y col., 2021). Ante estas limitaciones, el desarrollo de tecnologías verdes se ha vuelto esencial, surgiendo alternativas como los tratamientos hidrotérmicos asistidos por explosión de vapor, la radiación de microondas y los procesos biológicos por hidrólisis enzimática.



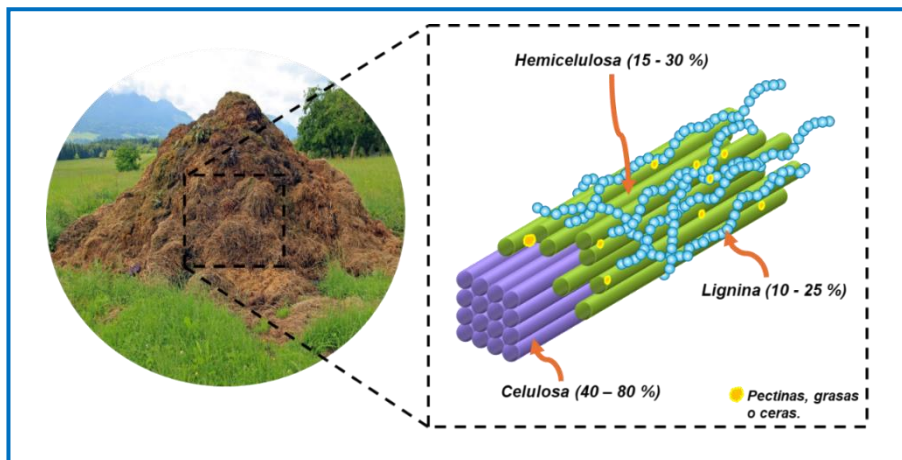


Figura 1. Estructura y composición de las fibras naturales provenientes de desechos agrícolas.

TECNOLOGÍAS VERDES PARA LA EXTRACCIÓN DE CELULOSA

Los métodos convencionales de extracción de celulosa presentan limitaciones ambientales y económicas, lo que ha impulsado el desarrollo de tecnologías verdes más limpias, selectivas y eficientes. Buscan reducir el uso de químicos tóxicos, disminuir el consumo energético y preservar la estructura de la celulosa. Entre las más destacadas se encuentran el tratamiento por explosión de vapor, la radiación de microondas y los procesos enzimáticos (Khan y col., 2022; Navarrete y col., 2011).

El tratamiento de explosión de vapor es un método hidrotermal que combina efectos mecánicos y químicos, utilizando altas temperaturas (160 - 270 °C) y presiones (20 - 50 bar) (Fu y col., 2017). Estas condiciones de proceso favorecen la despolimerización de las fibras lignocelulósicas mediante la hidrólisis de la hemicelulosa y el cizallamiento generado por el vapor saturado descomprimido, lo que provoca la ruptura de la red lignocelulósica y la eliminación parcial de lignina. Como resultado, se incrementa significativamente la accesibilidad a la celulosa (Zhang y col., 2021). Esta tecnología se utiliza principalmente para extraer pulpa de celulosa (Sun y col.,



2005) y se ha reportado su aplicación en fibras de coco (Campos y col., 2024), tallos de palmas (Pérez-Limiñana y col., 2022), desechos de fibras de agave (Weber y col., 2019), entre otros.

La radiación de microondas es un tipo de radiación electromagnética con longitudes de onda entre 1 mm a 1 m, con frecuencias entre 300 GHz y 300 MHz. Su capacidad para generar calor mediante calentamiento dieléctrico, a través de la vibración de moléculas polares, ha sido aprovechada en diversos procesos químicos. La extracción de celulosa asistida por microondas destaca por ser rápida, de bajo consumo energético y libre de subproductos tóxicos. Esta técnica se emplea no solo para extraer y purificar celulosa, sino también para su blanqueamiento y mejora en el índice de cristalinidad (Bangar y col., 2023; Romero-Zúñiga y col., 2023a; Romero-Zúñiga y col., 2023b; Zhang y col., 2017). Se ha aplicado para la obtención de celulosa y nanocelulosa a partir de residuos de aloe vera para la fabricación de hidrogeles (Triantafyllou y col., 2024), residuos de café en combinación con solventes eutécticos (Panyamao y col., 2023), cáscaras de almendra para la extracción de nanocristales de celulosa (Valdés y col., 2022), y algodón destinado para aplicaciones médicas (Bhat y col., 2019), entre otros.

Los procesos enzimáticos permiten extraer celulosa de la biomasa mediante enzimas como las celulasas, que descomponen la estructura de la celulosa en azúcares más simples (Tong y col., 2023). Estas enzimas pueden derivarse de diversos microorganismos y actúan hidrolizando los enlaces glucosídicos del polímero de celulosa. Por lo general se utiliza para obtener nanofibrillas de celulosa (Ribeiro y col., 2019; Squinca y col., 2022)

El tipo de tecnología aplicada influye en la estructura final de la celulosa extraída (Romero-Zúñiga y col., 2023b). La explosión de vapor tiende a reducir el grado de polimerización por ruptura mecánica, pero mantiene la cristalinidad. La radiación de microondas puede incrementar el índice de cristalinidad al favorecer la reorganización de las cadenas, mientras que la hidrólisis enzimática produce microfibrillas con alta cristalinidad y sin subproductos tóxicos (Jagadeesh y col., 2021). Estos cambios estructurales tienen efecto sobre la biodegradabilidad ya que los materiales celulósicos con mayor fracción amorfa tienden a biodegradarse más rápido, mientras que una mayor cristalinidad mejora la estabilidad térmica y mecánica (Khan y col., 2022).



Diversos reportes han comparado el rendimiento de obtención de celulosa (55–80 %), pureza (>90 %), consumo energético y costo, con las metodologías convencionales (Khan y col., 2022). En general, los métodos verdes muestran purezas similares o superiores, con un ahorro energético del 20 al 40 % frente a métodos químicos, aunque la inversión inicial en equipos puede ser mayor. Por ejemplo, la extracción por microondas puede reducir el tiempo de proceso de varias horas a menos de 20 min, mientras que la explosión de vapor logra un pretratamiento efectivo en una sola etapa. Estas ventajas se reflejan en menores emisiones de CO₂ y menor volumen de efluentes (Abolore y col., 2024).

Actualmente, la escalabilidad industrial de estas tecnologías presenta distintos niveles de madurez (Fu y col., 2017). El tratamiento por explosión de vapor cuenta con plantas piloto y semiindustriales, y ya se aplica en procesos de obtención de pulpas papeleras y biocombustibles, aunque requiere altas inversiones en calderas y sistemas de seguridad (Sun y col., 2005). Por otra parte, la radiación de microondas se emplea en reactores de hasta cientos de litros, sin embargo, la homogeneidad de calentamiento y el consumo energético siguen limitando su uso a gran escala (Romero-Zúñiga y col., 2022). En el caso de la hidrólisis enzimática, la limitante principal es el costo de las enzimas y los largos tiempos de reacción, lo cual restringe su aplicación industrial masiva, a pesar de que la tecnología de fermentación para producir enzimas ha avanzado rápidamente en los últimos años (Ribeiro y col., 2019). La Tabla 1 resume las principales ventajas y desventajas de cada tecnología, incluyendo aspectos de escalabilidad industrial, eficiencia y efectos estructurales

Tabla 1. Comparación de las principales tecnologías verdes para la extracción de celulosa a partir de residuos agrícolas, indicando su escalabilidad industrial, eficiencia, pureza y efectos estructurales.

Tecnología verde	Escalabilidad actual	Eficiencia y pureza de celulosa	Efecto en cristalinidad y DP*	Ventajas principales	Desventajas principales
Explosión de vapor	Piloto e industrial en pulpas	60–80 % >90 %	Mantiene cristalinidad, DP menor	Alta eficiencia, bajo tiempo de proceso	Alto costo de equipos y seguridad
Microondas	Piloto (reactores cientos de L)	55–75 % >90 %	Incremento de cristalinidad y DP	Rápido, bajo consumo energético, sin químicos	Homogeneidad de calentamiento limitada a gran escala

Procesos enzimáticos	Piloto (procesos de fermentación)	50–70 % >95 %	Alta cristalinidad, DP conservado	Alta selectividad, sin efluentes tóxicos	Costo de enzimas, tiempo de reacción
-----------------------------	-----------------------------------	------------------	-----------------------------------	--	--------------------------------------

metodologías, como los campos eléctricos pulsados, que incrementan la permeabilidad celular mediante pulsos de alta intensidad; las descargas eléctricas de alto voltaje, que inducen choques mecánicos e hidrodinámicos capaces de descomponer la biomasa; y la extracción con CO₂ supercrítico. Aunque estos métodos son considerados verdes, su implementación aún enfrenta desafíos técnicos y de escalabilidad (Abolore y col., 2024).

La Figura 2 muestra el número de publicaciones científicas relacionadas con cada una de las tecnologías verdes mencionadas, durante los últimos 20 años. Los datos fueron obtenidos a partir de una búsqueda estadística realizada en la base de datos SciFinder®.



Figura 2. Relación de publicaciones científicas asociadas con tecnologías verdes para la extracción de celulosa durante los últimos 20 años. Fuente: SciFinder®.

APLICACIONES SOSTENIBLES Y SU IMPACTO EN LA AGENDA 2030

La celulosa proveniente de residuos agrícolas es un recurso adecuado para impulsar el desarrollo sostenible y contribuir al cumplimiento de la Agenda 2030: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Estas aplicaciones permiten dirigirse hacia procesos productivos más responsables y con menor impacto

ambiental en diversos sectores industriales. Por ejemplo, en la industria alimentaria y cosmética, se han utilizado métodos como la extracción asistida con agua y microondas para recuperar fibras de celulosa, polifenoles, antioxidantes y compuestos bioactivos de residuos de manzana, uva y durazno, los cuales se han usado en la fabricación de alimentos funcionales, antioxidantes y cosméticos que reducen el uso de químicos sintéticos (Boggia y col., 2016; Boateng, 2024; Cañadas y col., 2023; Gomez-Contreras y col., 2024; Plazzotta y col., 2020).

Por lo general, la nanocelulosa y microcelulosa se utiliza en la producción de embalaje y envases, bioplásticos, películas biodegradables, recipientes alimenticios, popotes y botellas compostables; todos estos productos son una alternativa renovable en comparación de los plásticos derivados de la refinación de hidrocarburos, lo que ayuda a disminuir la generación de residuos sólidos y a proteger ecosistemas terrestres y marinos (Fernández Ocamica y col., 2025).

Las tecnologías de explosión hidrotermal en combinación con la radiación de microondas han demostrado ser útiles en la fabricación de biocombustibles (Zhang y col., 2017), en agricultura (Serratos y col., 2025), en la fabricación de materiales aislantes para la construcción sustentable, y en sistemas de purificación de agua y aire; contribuyendo específicamente a los ODS 6: Agua limpia y saneamiento, ODS 7: Energía asequible y no contaminante, ODS 9: Industria, innovación e infraestructura y ODS 13: Acción por el clima.

Una de las aplicaciones más prometedoras de los materiales celulósicos extraídos de los residuos agrícolas es su uso como refuerzo en biopolímeros (Mendoza-Tolentino y col., 2025), ya que mejoran las propiedades mecánicas, ofrecen mayor estabilidad térmica e incrementan su degradabilidad. Los biocompuestos reforzados con materiales celulósicos tiene el potencial de ser aplicados principalmente en el sector automotriz, en la construcción y en el diseño de dispositivos biomédicos.

Aprovechar el potencial de los residuos agrícolas para generar productos con valor agregado fortalece la economía circular, impulsa al cumplimiento de las metas globales de la Agenda 2030, y contribuye a reducir la huella de carbono, promoviendo prácticas productivas, más limpias y ambientalmente responsables.

CONCLUSIONES

La agricultura genera millones de toneladas anuales de residuos lignocelulósicos que, si no se gestionan adecuadamente, contribuyen a contaminar el medio ambiente. Sin embargo, estos residuos son ricos en celulosa, un biopolímero renovable y biodegradable con gran potencial para materiales de alto valor agregado. El uso de tecnologías verdes como la explosión de vapor, microondas e hidrólisis enzimática permite extraer celulosa de manera más limpia y eficiente, evitando químicos agresivos y reduciendo el impacto ambiental. Esto facilita su aplicación en la industria alimentaria, dermatológica, en la fabricación de cosméticos, biocombustibles, y principalmente en el desarrollo de biopolímeros reforzados.

Estas aplicaciones no solo son ambientalmente amigables, sino que también fomentan la economía circular y contribuyen al logro de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible dentro de la Agenda 2030, como la producción y consumo responsable, acción climática, salud, agua limpia y energía sostenible.

REFERENCIAS

- Abolore, R.S., Jaiswal, S., Jaiswal, A.K. (2024). Green and sustainable pretreatment methods for cellulose extraction from lignocellulosic biomass and its applications: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, **7**: 100396.
- Bangar, S.P., Kajla, P., Ghosh, T. (2023). Valorization of wheat straw in food packaging: A source of cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, **227**: 762-776.
- Bhat, A.H., Khan, I., Usmani, M.A., Umapathi, R., Al-Kindy, S.M.Z. (2019). Cellulose an ageless renewable green nanomaterial for medical applications: An overview of ionic liquids in extraction, separation and dissolution of cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, **129**: 750-777.
- Boateng, I.D. (2024). Mechanisms, Capabilities, Limitations, and Economic Stability Outlook for Extracting Phenolics from Agro-byproducts Using Emerging Thermal Extraction

Technologies and Their Combinative Effects. *Food and Bioprocess Technology*, **17**(5): 1109-1140.

Boggia, R., Turrini, F., Villa, C., Lacapra, C., Zunin, P., Parodi, B. (2016). Green Extraction from Pomegranate Marcs for the Production of Functional Foods and Cosmetics. *Pharmaceuticals*, **9**:63

Campos, A.O., Asevedo, E.A., Souza Filho, P.F., Santos, E.S.d. (2024). Extraction of Cellulases Produced through Solid-State Fermentation by *Trichoderma reesei* CCT-2768 Using Green Coconut Fibers Pretreated by Steam Explosion Combined with Alkali. *Biomass*, **4**: 92-106.

Cañadas, R., Sáenz de Miera, B., Méndez, P., González, E.J., González-Miquel, M. (2023). Enhanced Recovery of Natural Antioxidants from Grape Waste Using Natural Eutectic Solvents-Based Microwave-Assisted Extraction. *Molecules*, **28**: 1153

Fernández Ocamica, V., Palacino, B., Bartolomé, C., Bernardes Figueirêdo, M., Lázaro García, C. (2025). Trade-Offs and Synergies of Key Biobased Value Chains and Sustainable Development Goals (SDGs). *Sustainability*, **17**: 3040.

Fu, F., Lin, L., Xu, E. (2017). 4 - Functional pretreatments of natural raw materials. in: *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*, (Eds.) M. Fan, F. Fu, Woodhead Publishing, pp. 87-114.

Gaffey, J., Rajauria, G., McMahon, H., Ravindran, R., Dominguez, C., Ambye-Jensen, M., Souza, M.F., Meers, E., Aragonés, M.M., Skunca, D., Sanders, J.P.M. (2023). Green Biorefinery systems for the production of climate-smart sustainable products from grasses, legumes and green crop residues. *Biotechnology Advances*, **66**, 108168.

Gomez-Contreras, P.A., Obando, C., Freitas, P.A., Martin-Perez, L., Chiralt, A., Gonzalez-Martinez, C. (2024). Applying Subcritical Water Extraction to Obtain Bioactive Compounds and Cellulose Fibers from Brewer Spent Grains. *Molecules*, **29**:4897.

Heinze, T. (2016). Cellulose: Structure and Properties. in: *Cellulose Chemistry and Properties: Fibers, Nanocelluloses and Advanced Materials*, (Ed.) O.J. Rojas, Springer International Publishing. Cham, pp. 1-52.

Jagadeesh, P., Puttegowda, M., Mavinkere Rangappa, S., Siengchin, S. (2021). A review on extraction, chemical treatment, characterization of natural fibers and its composites for potential applications. *Polymer Composites*, **42**(12): 6239-6264.

Jayaprakash, K., Osama, A., Rajagopal, R., Goyette, B., Karthikeyan, O.P. (2022). Agriculture Waste Biomass Repurposed into Natural Fibers: A Circular Bioeconomy Perspective. *Bioengineering*, **9**: 296.

Khan, R., Jolly, R., Fatima, T., Shakir, M. (2022). Extraction processes for deriving cellulose: A comprehensive review on green approaches. *Polymers for Advanced Technologies*, **33**(7): 2069-2090.

- Mendoza-Tolentino, Y., González Morones, P., Sánchez-Valdés, S., Soriano-Corral, F., da Silva, L., García-Hernández, Z., Hernández-Hernández, E., Romero-Zúñiga, G.Y. (2025). Effect of Hollow Cellulose Fibers From Agro-Industrial Waste on the Mechanical, Morphological, and Thermal Properties of Nylon-6 Biocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, **142**(23): e57276.
- Navarrete, A., Herrero, M., Martín, A., Cocero, M.J., Ibáñez, E. 2011. Valorization of solid wastes from essential oil industry. *Journal of Food Engineering*, 104(2): 196-201.
- Panyamao, P., Charumanee, S., Ruangsuriya, J., Saenjum, C. (2023). Efficient Isolation of Cellulosic Fibers from Coffee Parchment via Natural Acidic Deep Eutectic Solvent Pretreatment for Nanocellulose Production. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **11**(38): 13962-13973.
- Pérez-Limiñana, M.A., Pérez-Aguilar, H., Ruzafa-Silvestre, C., Orgilés-Calpena, E., Arán-Ais, F. (2022). Effect of Processing Time of Steam-Explosion for the Extraction of Cellulose Fibers from Phoenix canariensis Palm Leaves as Potential Renewable Feedstock for Materials. *Polymers (Basel)*, **14**(23): 5206
- Plazzotta, S., Ibarz, R., Manzocco, L., Martín-Belloso, O. (2020). Optimizing the antioxidant biocompound recovery from peach waste extraction assisted by ultrasounds or microwaves. *Ultrasonics Sonochemistry*, **63**: 104954.
- Ribeiro, R.S.A., Pohlmann, B.C., Calado, V., Bojorge, N., Pereira, N., Jr. (2019). Production of nanocellulose by enzymatic hydrolysis: Trends and challenges. *Eng Life Sci*, **19**(4): 279-291.
- Romero-Zúñiga, G.Y., González-Morones, P., Sánchez-Valdés, S., Yáñez-Macías, R., Sifuentes-Nieves, I., García-Hernández, Z., Hernández-Hernández, E. (2022). Microwave Radiation as Alternative to Modify Natural Fibers: Recent Trends and Opportunities – A Review. *Journal of Natural Fibers*, **19**(14): 7594-7610.
- Romero-Zúñiga, G.Y., Sánchez-Valdés, S., Cenicerós-Reyes, M.A., Sifuentes-Nieves, I., Gallardo-Vega, C.A., Solís-Rosales, S.G., González-Morones, P., Hernández-Hernández, E. (2023a). A one-step process to produce high-crystallinity cellulose microfibrils from microwave irradiation of natural fiber waste. *Cellulose*, **30**(16): 10067-10082.
- Romero-Zúñiga, G.Y., Sánchez-Valdés, S., Sifuentes-Nieves, I., Yáñez-Macías, R., González-Morones, P., Hernández-Hernández, E. (2023b). Study of the microwave-assisted hydrothermal extraction of polysaccharides from agave fiber: production of hollow cellulose fibers. *Cellulose*, **30**(9): 5535-5547.
- Samanth, M., Subrahmanya Bhat, K. (2023). Conventional and unconventional chemical treatment methods of natural fibres for sustainable biocomposites. *Sustainable Chemistry for Climate Action*, **3**: 100034.

- Serratos, I.N., García Torres, J.A., Mendoza Téllez, J.L., Silva Roy, D., Soto Estrada, A.M., Leyva López, N.E., Rodríguez González, H., Le Borgne, S., Sánchez-Sánchez, K.L., Sosa Fonseca, R. (2025). Banana Peel Based Cellulose Material for Agriculture and Aquiculture: Toward Circular Economy. *Polymers*, **17**: 1230.
- Shen, Q. (2009). Chapter 12. Surface Properties of Cellulose and Cellulose Derivatives: A Review. in: *Model Cellulosic Surfaces*, (Ed. Maren Roman) Vol. 1019, Oxford University Press, pp. 259-289.
- Singh, S., Bhardwaj, S., Meda, R.S., Jain, S., Maji, P.K. (2024). 2 - Biocomposites with cellulosic fibers. in: *Advances in Biocomposites and their Applications*, (Ed.) N. Karak, Woodhead Publishing, pp. 41-79.
- Squinca, P., Bilatto, S., Badino, A.C., Farinas, C.S. (2022). The use of enzymes to isolate cellulose nanomaterials: A systematic map review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, **3**: 100212.
- Sun, X.F., Xu, F., Sun, R.C., Fowler, P., Baird, M.S. (2005). Characteristics of degraded cellulose obtained from steam-exploded wheat straw. *Carbohydrate Research*, **340**(1): 97-106.
- Tong, X., He, Z., Zheng, L., Pande, H., Ni, Y. (2023). Enzymatic treatment processes for the production of cellulose nanomaterials: A review. *Carbohydrate Polymers*, **299**:120199.
- Triantafyllou, E., Karydis-Messinis, A., Moschovas, D., Kyriakaki, C., Vasilopoulos, K.C., Giannakas, A.E., Karakassides, M.A., Avgeropoulos, A., Zafeiropoulos, N.E., Salmas, C.E. (2024). Microwave-Assisted Extraction of Cellulose from Aloe Vera Plant Residue and Preparation of Cellulose Nanocrystal–Poly(vinyl alcohol) Hydrogels. *Molecules*, **29**:6012.
- Valdés, A., Mondragon, G., Garrigós, M.C., Eceiza, A., Jiménez, A. (2022). Microwave-assisted extraction of cellulose nanocrystals from almond (*Prunus amygdalus*) shell waste. *Front Nutr*, **9**: 1071754.
- Weber, B., Estrada-Maya, A., Sandoval-Moctezuma, A.C., Martínez-Cienfuegos, I.G. (2019). Anaerobic digestion of extracts from steam exploded Agave tequilana bagasse. *Journal of Environmental Management*, **245**: 489-495.
- Zhang, H., Han, L., Dong, H. (2021). An insight to pretreatment, enzyme adsorption and enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass: Experimental and modeling studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **140**, 110758.
- Zhang, Z., Song, J., Han, B. (2017). Catalytic Transformation of Lignocellulose into Chemicals and Fuel Products in Ionic Liquids. *Chemical Reviews*, **117**(10): 6834-6880.