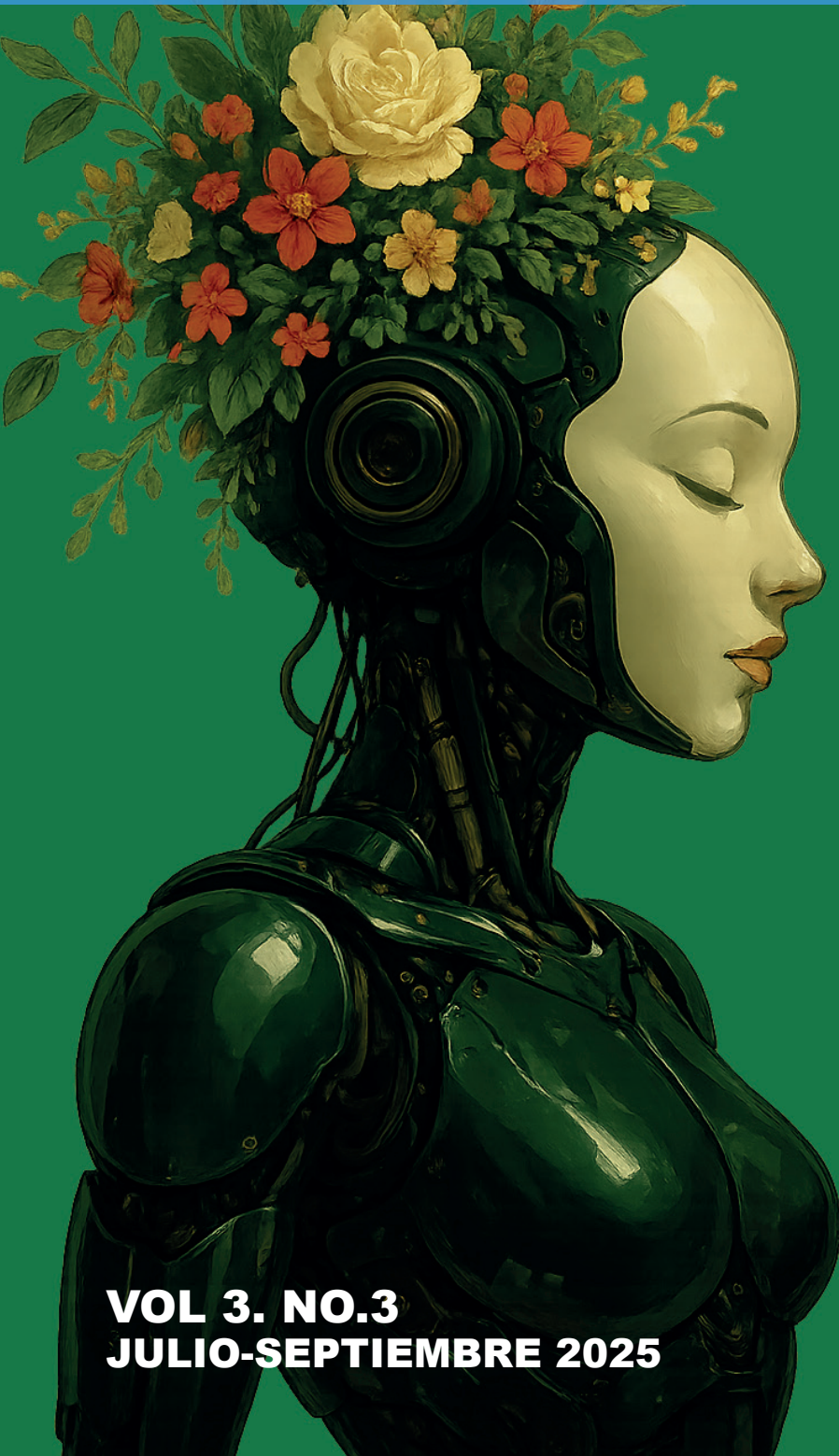


CIENCIA VITAL

Revista de Divulgación Científica de la UACJ

ISSN: 3061-7944



Innovación sustentable:
integración del sistema pozo
canadiense con las normas
solares mexicanas para la
comodidad térmica

Nanotecnología al rescate
del agua: innovación en la
degradación de colorantes

Simuladores interactivos en
MATLAB: metodología activa
para la enseñanza de las
matemáticas en ingeniería

Fotoacústica: estudiar la
materia escuchando la luz

Nanozimas: la nueva
generación de agentes
antimicrobianos para combatir
la resistencia bacteriana

Cáncer de endometrio, un
desafío poco conocido y
el papel de la inteligencia
artificial en su detección
temprana

NOTICIENCIAS

Microplásticos, los aliados
invisibles de las bacterias

VOL 3. NO.3
JULIO-SEPTIEMBRE 2025

DIRECTORIO INSTITUCIONAL



Dr. Daniel Constandse Cortez
Rector

Mtra. Guadalupe Gaytán Aguirre
Secretaria Académica

C. D. Salvador David Nava Martínez
Secretario General

Dr. Erwin Adan Martínez Gómez
Director del Instituto de Ingeniería
y Tecnología

Dr. Fausto Aguirre Escárcega
Director del Instituto de Arquitectura,
Diseño y Arte

Mtra. Tania Dolores Hernández García
Directora del Instituto de Ciencias
Biomédicas

Dr. Jesús Meza Vega
Director del Instituto de Ciencias
Sociales y Administración

Dra. Nelly Gordillo Castillo
Jefa del Departamento de Ingeniería
Eléctrica y Computación

CIENCIA VITAL, volumen 3, número 3, julio-septiembre 2025, es una publicación trimestral, seriada, en línea, editada por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez a través del Consejo Editorial, Avenida del Charro núm. 450 norte, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C. P. 32310, teléfono +52 (656) 688-4848, <https://cienciavital.uacj.mx>, cienciavital@uacj.mx Editora responsable: Dra. Nelly Gordillo Castillo. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo no. 04-2024-032714020600-102, otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 3061-7944. Responsable de la última actualización de este número: Dra. Nelly Gordillo Castillo, Avenida del Charro núm. 450 norte, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C. P. 32310, teléfono +52 (656) 688-4848. Fecha de la última actualización: 30 de septiembre de 2025. Las opiniones expresadas en los documentos publicados son responsabilidad de sus autores. Se autoriza la reproducción total de los contenidos e imágenes, siempre y cuando se cite la fuente.

COMITÉ EDITORIAL DE CIENCIA VITAL

Dra. Nelly Gordillo Castillo
Editora Jefa

Dr. Alberto Davis Ortiz
Coordinador General

Michelle Arely Berrueto Duarte
Abib Adriana Reyes Díaz
Coordinadoras Generales Estudiantes

PRODUCCIÓN

Mtro. Edgar Eliezer Martínez Espínola
Director Creativo

Mtro. Leonardo Arroyo Ortega
Administrador Web

Ledesma Soriano América Itzayanne
Edición Gráfica

REDES SOCIALES

Víctor Alfonso Irigoyen Chaparro
Líder de Redes Sociales

Abib Adriana Reyes Díaz
Gestora de Programación de Redes
Sociales

Anett Giselle González Rentería
Facebook

Luisa Fernanda Sandoval Gaytán
Instagram

Brandon Yahir Templos Marín
LinkedIn

Angélica Montserrat Colín Cárdenas
TikTok

Eylin Danae Flores Osorio
X

NOTICIENCIAS

Anett Giselle González Rentería
Líder Estudiantil de Sección

Ashley Naomi Pantoja Medrano
Corrección de Estilo

CIENCIAS APLICADAS

Dr. Manuel Alejandro
Chairez Ortega
Editor de Sección

Eylin Danae Flores Osorio
Líder Estudiantil de Sección

Joel Daniel Ochoa Lucio
Comité Editorial Estudiantil

CIENCIAS BÁSICAS

Dra. Saraí Esmeralda Favela Camacho
Dr. Héctor Alejandro Trejo
Mandujano
Editores de Sección

Brandon Yahir Templos Marín
Líder Estudiantil de Sección

Víctor Alfonso Irigoyen Chaparro
Mauricio Adrián Pinales Jiménez
Comité Editorial Estudiantil

CIENCIAS DE LA SALUD

Dra. Alejandra Vargas Caraveo
Dra. Yuridia Ortiz Rivera
Editoras de Sección

Cesar Andrés Holguín Rivas
Líder Estudiantil de Sección

Jaqueline Gutiérrez Tapia
Kevin Iván Olivares Muñoz
Alexis Aguirre Simental
Comité Editorial estudiantil

CIENCIAS SOCIALES

Dr. Jorge Antonio Breceda Pérez
Editor de Sección

Anneth Nohemí Velázquez Mendoza
Líder Estudiantil de Sección

Luisa Fernanda Sandoval Gaytán
Comité Editorial Estudiantil

¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?

Dr. Alberto Davis Ortiz
Editor de Sección

Daniela Alejandra Chávez Espino
Líder Estudiantil de Sección

DIMENSIONES ÉTICAS

Dra. Nelly Gordillo Castillo
Editora de Sección

Frida Sofía Lizárraga Tavares
Líder Estudiantil de Sección

Ana María García Castro
Comité Editorial Estudiantil

ENTREVISTAS

Dr. Alberto Davis Ortiz
Editor de Sección

Daniela Alejandra Chávez Espino
Líder Estudiantil de Sección

Jesús Daniel Rivas Valenzuela
Javier Ramírez Hernández
Comité Editorial Estudiantil

SALUD MENTAL

Mtra. Ana Cecilia Gutiérrez de la Peña
Dra. Bertha Musi Lechuga
Editoras de Sección

Michelle Arely Berrueto Duarte
Líder Estudiantil de Sección

Flor Minerva Montejo Dávila
Comité Editorial Estudiantil

UACJ POR EL MUNDO

Dr. Alberto Davis Ortiz
Editor de Sección

Ashley Naomi Pantoja Medrano
Líder Estudiantil de Sección

CONTENIDO

Innovación sustentable: integración del sistema pozo canadiense con las normas solares mexicanas para la comodidad térmica-[e0303APL01](#)

Nanotecnología al rescate del agua: innovación en la degradación de colorantes-[e0303APL02](#)

Simuladores interactivos en MATLAB: metodología activa para la enseñanza de las matemáticas en ingeniería- [e0303BAS01](#)

Fotoacústica: estudiar la materia escuchando la luz-[e0303BAS02](#)

Microplásticos, los aliados invisibles de las bacterias-[e0303NBA01](#)

Nanozimas: la nueva generación de agentes antimicrobianos para combatir la resistencia bacteriana-[e0303SAL01](#)

Cáncer de endometrio, un desafío poco conocido y el papel de la inteligencia artificial en su detección temprana-[e0303SAL02](#)

ACERCA DE CIENCIA VITAL

Ciencia Vital Revista de Divulgación Científica de la UACJ es una publicación seriada, en línea, publicada en modalidad continua con cuatro números anuales por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) a través del Consejo Editorial. Su propósito fundamental es tender puentes entre el conocimiento científico y la comunidad en general. Con Ciencia Vital, buscamos acercar la ciencia a las personas de una forma clara, accesible y, sobre todo, confiable

Revisión por pares

Cada manuscrito sometido a Ciencia Vital es meticulosamente evaluado a través de un riguroso proceso de revisión por pares doble ciego. Este proceso asegura la calidad, relevancia y rigor científico de cada artículo. Nuestros revisores, expertos en sus respectivos campos, aportan sus conocimientos y perspectivas críticas para garantizar que cada trabajo cumpla con los más altos estándares académicos

Invitación a contribuir

Extendemos una cordial invitación a investigadores, académicos y expertos a considerar Ciencia Vital para la publicación de sus trabajos. Su contribución es esencial para continuar construyendo un conocimiento científico accesible, confiable y de vanguardia.

Acceso abierto para amplificar el conocimiento

Comprometidos con la democratización del conocimiento, Ciencia Vital opera bajo un modelo de acceso abierto. Esto significa que todos los artículos son accesibles sin costo alguno para los lectores de todo el mundo, fomentando una mayor difusión y un impacto más amplio de las investigaciones presentadas. Aunado a esto, las publicaciones se comparten en la página web cienciavital.uacj.mx y a través de nuestras redes académicas y sociales en un formato amigable que fácilmente puede ser compartido

Innovación y actualidad en la investigación

Los autores de Ciencia Vital están en la vanguardia de sus campos, presentando investigaciones innovadoras y relevantes. A través de su trabajo, abordan desafíos actuales y ofrecen nuevas perspectivas y soluciones.

Diversidad y colaboración internacional

Alentamos la participación de autores de todo el mundo, creando un espacio inclusivo y diverso para la discusión científica. Nuestra plataforma fomenta la colaboración internacional, regflejando la naturaleza global de la ciencia y la investigación.

Innovación sustentable: integración del sistema pozo canadiense con las normas solares mexicanas para la comodidad térmica



***Dr. Marco Antonio Polo Labarrios**

Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa

mpolo@izt.uam.mx

Dr. Sergio Quezada García

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería

Dra. Cecilia Martín del Campo Márquez

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería

Dr. Heriberto Sánchez Mora

Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa

Resumen

El pozo canadiense, también conocido como pozo provenzal, es una técnica de climatización pasiva que utiliza la temperatura constante del subsuelo para enfriar o calentar el aire que entra a los edificios, reduciendo así la necesidad de sistemas de aire acondicionado que consumen electricidad. Esta alternativa resulta especialmente prometedora para México, donde los climas extremos y los altos costos energéticos dificultan mantener espacios interiores cómodos de manera sostenible. Al conducir el aire exterior por tuberías enterradas, el pozo canadiense permite mantener temperaturas más estables en viviendas y edificios, disminuyendo el consumo de energía y las emisiones contaminantes. El artículo también destaca la integración de esta técnica con la permacultura, un enfoque de diseño que busca construir en armonía con los ciclos naturales, fomentando viviendas más resilientes y respetuosas con el ambiente. Combinado con materiales ecológicos y con las normas mexicanas de eficiencia energética, este sistema representa una alternativa innovadora y accesible para avanzar hacia una arquitectura más consciente, capaz de mejorar la calidad de vida de las personas y responder a los retos del cambio climático.

Introducción

Las viviendas y edificios nos brindan refugio y protección contra las condiciones climáticas. Dado que pasamos la mayor parte del día en su interior, deseamos tener una sensación de comodidad térmica.

Los sistemas de climatización activa se utilizan para lograr esta comodidad en espacios interiores. La capacidad de mantener condiciones térmicas adecuadas se considera uno de los mayores avances tecnológicos y se ha vuelto esencial en edificaciones y viviendas. Sin embargo, estos equipos requieren electricidad para funcionar, lo que durante ciertas temporadas del año puede representar un elevado gasto energético y, por consiguiente, un alto costo económico, volviéndose poco accesibles para familias de bajos recursos.

Se calcula que, en regiones con climas tropicales, la energía utilizada en los edificios para climatización puede superar el 50% del consumo energético total [1]. Además, se prevé que este consumo aumente en los próximos años debido al crecimiento poblacional, la demanda de mayores niveles de comodidad, el cambio climático y la tendencia de pasar más tiempo en interiores. Por lo tanto, los equipos activos de climatización no son idóneos desde el punto de vista de la sostenibilidad.

En un mundo cada vez más centrado en la eficiencia energética y la sostenibilidad, una opción para reducir o eliminar el uso de sistemas activos es la implementación de técnicas pasivas de enfriamiento en viviendas y edificios. Estas técnicas no requieren electricidad para funcionar. Algunas son fáciles de implementar sin necesidad de modificaciones en la construcción, mientras que otras exigen cambios importantes o deben incorporarse desde la fase de edificación.

Un ejemplo es la ventilación natural, que facilita el ingreso de aire fresco del exterior al interior de la edificación (Figura 1). De esta forma, circula y se renueva el aire sin la necesidad de dispositivos mecánicos [2]. Las técnicas pasivas de refrigeración evitan el consumo de energía eléctrica, lo que a gran escala reduce significativamente las emisiones de bióxido de carbono [3].

Es fundamental replantear el enfoque y las técnicas de construcción para adoptar un concepto sostenible de diseño, edificación y mantenimiento, integrando el entorno y los recursos naturales disponibles. En este contexto, la permacultura, entendida como una filosofía de diseño integral que busca crear sistemas sostenibles y armoniosos a partir de los patrones de la naturaleza, puede ser un elemento fundamental [4].

En este marco, el pozo canadiense (también conocido como provenzal) se presenta como una técnica pasiva de gran potencial para el clima de México, ya que aprovecha la energía térmica del subsuelo para regular la temperatura interior de los edificios.

¿Qué es la comodidad térmica?

La comodidad térmica hace referencia al bienestar que siente una persona cuando la temperatura, la humedad y la ventilación de un espacio son adecuadas para el cuerpo humano. El factor más influyente es la temperatura. Este concepto engloba el rango de condiciones en que el cuerpo se siente cómodo, el cual varía según factores como la ropa, el nivel de actividad física, la edad y la adaptación al clima local.

La Figura 1 presenta el diagrama bioclimático de Givoni, que ilustra la zona de comodidad térmica entre los 23 °C y 27 °C, con una humedad relativa de entre 30 % y 70 %. Aunque el diagrama no lo incluye, la velocidad del viento también es relevante y se estima adecuada en 0.2 m/s [5].

En climas cálidos, el cuerpo humano transfiere el exceso de calor al entorno por diferentes mecanismos:

- **Conducción:** el calor se transfiere a superficies en contacto con el cuerpo, como el piso, una silla o la cama.
- **Convección:** el calor se transfiere al aire en movimiento. Cuando hace calor, el cuerpo suda y, al evaporarse el sudor, se transfiere calor al aire circundante.
- **Radiación:** el calor se emite hacia objetos o personas cercanas sin necesidad de contacto directo.

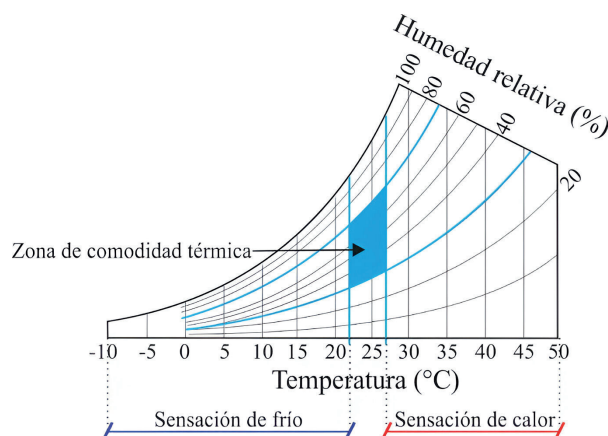


Figura 1. Diagrama bioclimático de Givoni que muestra la zona de comodidad térmica.

La temperatura superficial de la piel varía según la zona del cuerpo, con un promedio de 34 °C, mientras que la temperatura interna es de 37 °C. Para que el cuerpo pueda disipar calor, la temperatura del aire y de los objetos circundantes debe ser menor a 34 °C.

En zonas extremas, como el Bajío o el norte de México, lograr la comodidad térmica es un reto, por lo cual los pozos canadienses representan una alternativa.

Tabla 1. Efecto de variables ambientales en la comodidad térmica [2].

Variable	Efecto en la comodidad térmica
Viento (m/s)	Pérdida de calor por convección. Efecto de refrescamiento cuando la temperatura del aire es baja.
Radiación solar (W/m²)	Sensación de calor excesivo.
Humedad	La pérdida de calor por evaporación aumenta cuando la humedad relativa es baja.
Temperatura radiante (°C)	Pérdida de calor por radiación cuando es baja.
Temperatura de bulbo seco (°C)	Pérdida de calor por convección cuando es baja.

¿Qué son los pozos canadienses o provenzales?

Los equipos de climatización se utilizan para alcanzar la comodidad térmica modificando factores como la calefacción, la refrigeración, la humidificación, la limpieza o la desodorización del aire. Estos equipos se clasifican en dos tipos: activos y pasivos. Los sistemas activos, como los equipos minisplit utilizados en espacios peque-

ños, requieren electricidad y funcionan bajo el mismo principio que los refrigeradores domésticos. En contraste, las técnicas pasivas no necesitan energía eléctrica.

El pozo canadiense o pozo provenzal es una técnica pasiva de climatización que aprovecha la temperatura constante del subsuelo para enfriar o calentar el aire que entra en una vivienda o edificio. Consiste en una serie de tuberías enterradas a una profundidad de entre 1.5 m y 3 m, con una longitud aproximada de 30 m. A partir de los 10 m a 15 m de profundidad, la temperatura del subsuelo se mantiene prácticamente constante durante todo el año. A los 2 m, por ejemplo, se registran temperaturas de entre 18 °C y 24 °C, adecuadas para generar comodidad térmica. Esta energía se conoce como energía geotérmica, es decir, la energía proveniente del calor interno de la Tierra.

El sistema recibe el nombre de pozo canadiense porque fue utilizado en Canadá principalmente durante el invierno, y provenzal porque se aplicó en la región francesa de Provenza durante el verano. Funciona tanto para calefacción como para refrigeración.

Su principio es sencillo: en verano, el aire caliente del exterior entra en las tuberías, se enfría al pasar por el subsuelo y accede al interior a menor temperatura. En invierno ocurre lo contrario: el aire frío se calienta al circular por la tierra antes de ingresar a la vivienda. Este proceso reduce la necesidad de equipos activos, lo que se traduce en un ahorro energético y económico.

El subsuelo tiene una alta capacidad calorífica, es decir, almacena calor de manera eficiente. Además, su baja conductividad térmica provoca que los cambios de temperatura se transmitan lentamente. Esto lo convierte en un entorno térmicamente estable: se mantiene fresco cuando afuera hace calor y templado cuando afuera hace frío.

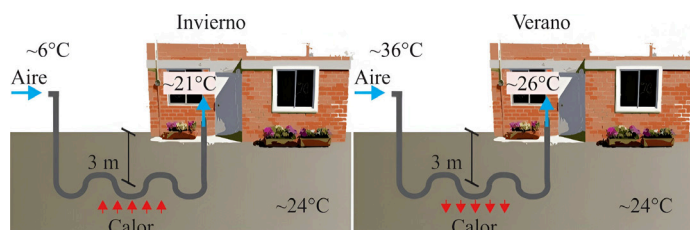


Figura 2. Esquema del funcionamiento del pozo canadiense en invierno y verano.

Aspectos importantes para considerar en el diseño del sistema

Para construir un pozo canadiense es necesario atender ciertas consideraciones. El punto de captación del aire debe colocarse elevado sobre el suelo para evitar la entrada de gas radón, un gas radioactivo que se produce de manera natural en la corteza terrestre, especialmente en zonas volcánicas. En concentraciones altas puede ser dañino para la salud, ya que tiende a acumularse en áreas bajas con poca ventilación.

También es necesario impedir la entrada de insectos, roedores u otros animales que podrían afectar el sistema. Para ello se instalan rejillas o filtros.

Los tubos empleados deben ser impermeables, resistentes a la corrosión y a la presión del terreno. Es importante que tengan buena conductividad térmica para que el calor se transfiera con eficiencia entre el subsuelo y el aire que circula por ellos [6], [7]. Además, deben contar con recubrimientos antiestáticos y aditivos que prevengan la aparición de hongos, moho y bacterias, lo que reduce riesgos para la salud.

El tipo de suelo también influye en la viabilidad del sistema. Un terreno rocoso encarece y dificulta la instalación. La conductividad térmica del suelo depende de factores como su composición y contenido de agua. Por ejemplo, los suelos arenosos secos tienen baja conductividad, pero al estar húmedos esta aumenta considerablemente.

La presencia de agua subterránea (nivel freático) también modifica el comportamiento térmico. Por ello, antes de construir un pozo

canadiense es indispensable realizar un estudio de suelo.

¿Existen otras técnicas pasivas de refrigeración que puedan usarse?

El diseño de viviendas sostenibles puede complementarse con materiales de construcción adecuados. Un ejemplo es el COBE o adobe, elaborado con tierra, arcilla y paja. Este material, además de ser económico y ecológico, tiene buenas propiedades térmicas: ayuda a mantener la temperatura interior cercana a la de comodidad térmica, refleja la radiación infrarroja en verano y conserva el calor en invierno [8]. También es duradero y actúa como filtro de algunas sustancias tóxicas.

Al aplicarse en muros, techos y ventanas, el COBE mejora la eficiencia del pozo canadiense al proporcionar un mejor aislamiento térmico. Su combinación con principios de permacultura refuerza la armonía con el entorno, la resiliencia y la sostenibilidad a largo plazo.

Normas mexicanas de energía solar

Una estrategia clave para reducir el consumo eléctrico en climatización es la integración de energías renovables como la solar y la geotérmica, en conjunto con técnicas pasivas. Asimismo, mejorar el aislamiento térmico de muros y techos con materiales como el COBE incrementa la eficiencia.

La adopción de estas medidas requiere un respaldo normativo. En Europa, por ejemplo, la Directiva de eficiencia energética de los edificios ha impulsado el ahorro y la eficiencia mediante regulaciones estrictas.

En México, se cuenta con normas que promueven el uso de energías limpias y el diseño eficiente:

- NOM-001-ENER-2021: regula la eficiencia energética de equipos activos de climatización en edificios. Aunque se centra en sistemas mecánicos, su cumplimiento puede apoyarse en la reducción de demanda mediante técnicas pasivas como el pozo canadiense o el COBE.

• NOM-020-ENER-2011: establece los requisitos mínimos de eficiencia energética en la envolvente de edificios no residenciales. Fomenta el uso de materiales aislantes y diseños que reduzcan la transferencia de calor, lo cual se logra con estrategias pasivas y con materiales como el COBE.

Estas normas fortalecen la transición hacia un modelo de construcción más sostenible, que equilibra desarrollo urbano y protección ambiental.

Reflexión

Es fundamental adoptar un enfoque integral en la construcción de viviendas en México, combinando técnicas pasivas como el pozo canadiense y materiales ecológicos como el COBE con el cumplimiento de las normativas energéticas. Esto permite reducir el consumo eléctrico, ahorrar costos y disminuir el impacto ambiental.

El pozo canadiense aprovecha la estabilidad térmica del subsuelo para mantener una temperatura confortable durante todo el año. Cuando se combina con materiales aislantes y estrategias de permacultura, se logra un modelo de vivienda resiliente y sostenible.

El marco normativo mexicano, con normas como la NOM-001-ENER-2021 y la NOM-020-ENER-2011, brinda soporte para implementar soluciones energéticamente eficientes. Su integración con técnicas pasivas representa un paso importante hacia edificaciones más responsables y alineadas con los objetivos globales de sostenibilidad.

Referencias.

- [1] K. J. Chua, S. K. Chou, W. M. Yang, and J. Yan, "Achieving better energy-efficient air conditioning: A review of technologies and strategies," *Applied Energy*, vol. 104, pp. 87–104, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.037>.
- [2] E. Yarke, *Ventilación natural en edificios. Fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos*. Buenos Aires, Argentina: Nubuko, 2005. [Online]. Available: <https://www.nubuko.com/libros/ventilacion-natural-en-edificios/>
- [3] ASHRAE, "Thermal and moisture control in insulated assemblies - fundamentals," in *Fundamentals*, SI Edition, M. S. Owen, Ed. Atlanta, GA: ASHRAE, 2017. [Online]. Available: <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook>
- [4] B. Mollison, *Permaculture: A Designers' Manual*, 1st ed. Tasmania, Australia: Tagari Publications and Permaculture Institute, 1997. [Online]. Available: <https://www.permacultureprinciples.com/product/permaculture-designers-manual/>
- [5] Y. A. Çengel, *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico*, 3rd ed. México: McGraw Hill, 2007. [Online]. Available: <https://www.mheducation.com.mx/transferencia-de-calor-y-masa-un-enfoque-practico-3a-ed.html>
- [6] Y. Li and S. Ren, "Basic properties of building decorative materials," in *Building Decorative Materials*, Elsevier, 2011, pp. 10–24, doi: <https://doi.org/10.1533/9780857092588.10>.
- [7] P. J. Hernández, "Características térmicas de los materiales," *Arquitectura Eficiente: Estudios de Arquitectura e Interiorismo en Murcia*, 2014. [Online]. Available: <https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/> [Accessed: Dec. 13, 2024].
- [8] M. G. Cuitiño-Rosales, R. Rotondaro, and A. Esteves, "Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra," *Revista de Arquitectura*, vol. 22, pp. 138–151, 2020, doi: <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2348>.



Nanotecnología al rescate del agua: innovación en la degradación de colorantes

Pamela Ortega Sánchez

Universidad Anáhuac de Querétaro

Brenda Itzel Jiménez Muñoz

Universidad Tecnológica de Tulancingo

Ing. Arlete Yuriana Vázquez García

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica CIDETEQ

Mtro. Alejandro López Amador

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica

***Dra. Beatriz Liliana España Sánchez**

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica SC

lespana@cideteq.mx

Resumen

La contaminación del agua por colorantes de la industria textil es una grave amenaza ambiental y para la salud, porque estos compuestos son persistentes, tóxicos y difíciles de degradar. Esto afecta la biodiversidad y dificulta el acceso a agua limpia, especialmente en comunidades vulnerables. Se han utilizado membranas de filtración para enfrentar el problema, pero las membranas tradicionales suelen taparse rápidamente y duran poco. Ahora, la nanotecnología (manipulación de la materia a escala nanométrica, es decir, extremadamente pequeña) surge como una alternativa prometedora. Al integrarla en membranas poliméricas (hechas de materiales plásticos), se mejora la eficiencia y la selectividad de filtrado (capacidad de retener contaminantes específicos). Además, estas membranas adquieren propiedades antimicrobianas y se vuelven más duraderas. Materiales como nanopartículas metálicas, óxidos metálicos y nanomateriales de carbono permiten crear membranas “inteligentes” capaces de degradar los colorantes y eliminar microbios. Investigadores de CIDETEQ están desarrollando estas membranas avanzadas para lograr un tratamiento del agua contaminada más sostenible, accesible y eficaz, en beneficio del medio ambiente y la salud de las personas.

Introducción

El agua es una fuente vital para todos los seres vivos. Sin embargo, se ha convertido en el vertedero de numerosas industrias, especialmente la textil. ¿Sabías que cada prenda que usas podría estar contaminando litros de agua sin que lo sepas? Cada atuendo que utilizamos implica un complejo proceso de teñido que, en muchos casos, culmina con el vertido de aguas residuales directamente en ríos y lagos. Esta contaminación representa un serio problema ambiental, ya que afecta tanto a la flora como a la fauna, además de ser un riesgo importante para la salud humana [1].

Se estima que existen alrededor de cien mil tipos de tintes disponibles comercialmente, con una producción global superior a setenta mil toneladas anuales, de las cuales aproximadamente el 15 % se pierde durante el proceso de teñido [2], terminando en cuerpos de agua sin el tratamiento adecuado. Esto genera alteraciones como la reducción de la luz solar disponible para organismos fotosintéticos y toxicidad para diversas formas de vida acuática (Figura 1) [3]. Estos efectos comprometen los ciclos naturales, provocan la pérdida de biodiversidad y afectan principalmente a comunidades rurales cercanas a los vertederos, que se vuelven más vulnerables ante estas descargas. Por ello, es urgente desarrollar tecnologías eficientes que combatan esta problemática [4].



Figura 1. Contaminación del agua a partir del sector textil y su impacto en el ecosistema.

Tecnologías convencionales de tratamiento de aguas

Entre todas estas alternativas, el uso de membranas se destaca como una estrategia versátil y eficaz. Estas membranas funcionan como barreras selectivas que permiten el paso del agua limpia mientras retienen contaminantes físicos, químicos y biológicos [12]. Muchas de ellas operan sin necesidad de añadir productos químicos, presentan un bajo consumo energético y pueden adaptarse a distintos tipos de contaminantes. Se emplean en procesos como la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa (clasificados según el tamaño de sus poros [13]), logrando una purificación efectiva, tal como se representa en la Figura 2. Sin embargo, su implementación enfrenta retos, como el ensuciamiento que reduce su eficiencia y vida útil, además del costo de instalación.

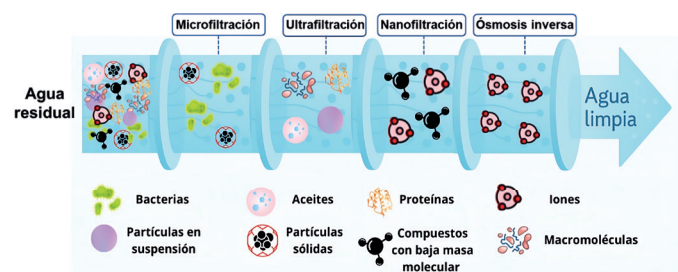


Figura 2. Esquema representativo de los diferentes procesos de separación a partir del uso de membranas para la obtención de agua limpia.

Nanotecnología como solución innovadora

La nanotecnología es la ciencia que manipula materiales a escalas diminutas (miles de veces más pequeñas que el grosor de un cabello humano), logrando mejoras significativas en sus propiedades. Recientemente, la incorporación de nanomateriales en membranas de filtración ha demostrado ser una estrategia muy efectiva para tratar aguas contaminadas por la industria textil, mejorando tanto la eliminación de contaminantes como la durabilidad y funcionalidad del sistema [14].

Estos nuevos materiales, conocidos como nanocompuestos, combinan nanopartículas funcionales con matrices poliméricas resistentes, como la polisulfona (PPSU) o la polietersulfona (PES), con el objetivo de desarrollar membranas multifuncionales de capacidad superior [15]. Por ejemplo, al integrar óxidos metálicos como el óxido de zinc (ZnO) o el dióxido de titanio (TiO_2) en membranas poliméricas, se les confiere actividad fotocatalítica bajo luz ultravioleta o solar, permitiendo la degradación directa de colorantes como el naranja de metilo o el azul de metileno, los cuales son difíciles de eliminar por métodos convencionales [16,17].

Del mismo modo, la incorporación de puntos cuánticos de carbono (CQDs) en membranas de polisulfona ha demostrado potenciar tanto la adsorción de colorantes como la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS, moléculas altamente oxidantes), facilitando su fotodegradación [18].

Otro ejemplo relevante es el uso de nanopartículas de plata (AgNPs). Estas partículas no solo mejoran la resistencia antimicrobiana de la membrana —evitando el crecimiento bacteriano en el sistema— sino que también contribuyen a la eliminación de materia orgánica [19]. Además, materiales como el óxido de grafeno (GO) se han utilizado para fabricar membranas con mayor hidrofobicidad y resistencia al ensuciamiento, favoreciendo un flujo de agua más eficiente y prolongando la vida útil del sistema [20].

Estas combinaciones de nanomateriales permiten desarrollar membranas activas y multifuncionales, capaces de retener, degradar y desinfectar el agua en un solo paso. En otras palabras, se logra una solución avanzada, adaptable y sostenible frente a los desafíos de la contaminación textil. La Figura 3 ilustra el papel de estos nanomateriales incorporados en las membranas poliméricas para el tratamiento de efluentes de la industria textil. En este esquema se aprecia que, ya sea actuando como un filtro que permite el flujo del agua o simplemente estando sumergida en agua contaminada, la membrana logra degradar los colorantes mediante la generación de radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) que rompen sus moléculas contaminantes.

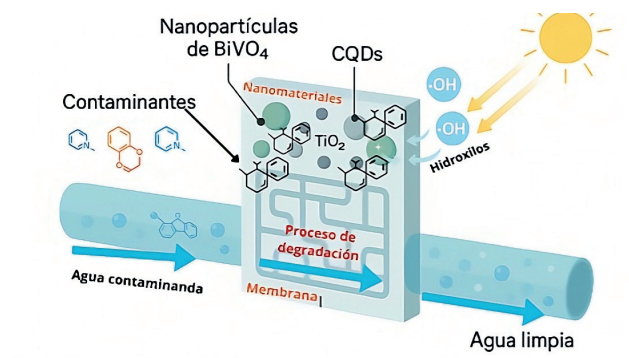


Figura 3. Representación esquemática del rol de los nanomateriales incorporados en membranas poliméricas para el tratamiento de efluentes de la industria textil.

Gracias a estas innovaciones, las membranas nanocompuestas ofrecen ventajas clave: mayor selectividad, eliminación activa de contaminantes, resistencia mecánica y química, y una vida útil prolongada. Aunque su fabricación inicial puede ser costosa, el bajo mantenimiento y la capacidad de autolimpieza de estas membranas compensan dicha inversión en el tratamiento de aguas residuales industriales [21,22].

Conclusión

El desarrollo de nuevas tecnologías representa un gran paso hacia soluciones de tratamiento del agua más eficientes y sostenibles. Gracias a los avances en la ciencia de materiales, hoy es posible crear membranas más duraderas, reutilizables y fáciles de fabricar sin dañar el ambiente [23]. Incluso se está investigando cómo darles funciones “inteligentes”, como la autolimpieza [24] o la generación de electricidad con el flujo del agua [25].

Estas tecnologías podrían aplicarse en comunidades que no cuentan con acceso a plantas de tratamiento de agua, ofreciendo una alternativa accesible, de bajo costo y amigable con el planeta. Así, la innovación en este campo no solo ayudaría a cuidar el agua, sino que también contribuiría a mejorar la calidad de vida de muchas personas.

Cuidar el agua es cuidar la vida. Apostar por estas nuevas tecnologías es una manera de acercarnos a un futuro más justo, donde todas las personas puedan acceder a este recurso vital sin poner en riesgo su salud ni la del entorno.

En esta línea, el Laboratorio de Polímeros del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQU) trabaja activamente en el desarrollo de membranas nanoestructuradas multifuncionales, combinando polímeros de alto desempeño con nanomateriales estratégicos. Por ejemplo, una membrana de polietersulfona modificada con óxido de grafeno demostró, en un sistema de filtración, la capacidad de adsorber el colorante azul de metileno en cuanto entró en contacto con el agua contaminada, con una efectividad superior a la del carbón activado, demostrando así su eficacia tanto en la remoción de contaminantes como en la actividad bactericida [15].

También se están investigando membranas elaboradas mediante electrohilado (una técnica de fabricación de nanofibras), las cuales ofrecen nuevas oportunidades para el tratamiento eficiente del agua [26]. Estos avances buscan brindar soluciones sostenibles adaptadas a condiciones reales de operación, con procesos de fabricación más limpios y accesibles.

Referencias

- [1] S. Sudarshan, S. Harikrishnan, G. Rathibhuvaneswari, V. Alamelu, S. Aanand, A. Rajasekar, M. Govarthanan, Impact of textile dyes on human health and bioremediation of textile industry effluent using microorganisms: current status and future prospects, *J. Appl. Microbiol.* 134 (2023). <https://doi.org/10.1093/JAMBIO/LXAC064>.
- [2] S. Dutta, S. Adhikary, S. Bhattacharya, D. Roy, S. Chatterjee, A. Chakraborty, D. Banerjee, A. Ganguly, S. Nanda, P. Rajak, Contamination of textile dyes in aquatic environment: Adverse impacts on aquatic ecosystem and human health, and its management using bioremediation, *J. Environ. Manage.* 353 (2024) 120103. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2024.120103>.
- [3] Y. Ahmed, K.R. Dutta, S.N.C. Nepu, M. Prima, H. AlMohamadi, P. Akhtar, Optimizing photocatalytic dye degradation: A machine learning and metaheuristic approach for predicting methylene blue in contaminated water, *Results in Engineering* 25 (2025) 103538. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2024.103538>.
- [4] T. Islam, M.R. Repon, T. Islam, Z. Sarwar, M.M. Rahman, Impact of textile dyes on health and ecosystem: a review of structure, causes, and potential solutions, *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 30 (2023) 9207–9242. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-24398-3>.
- [5] G.A. Kallawar, B.A. Bhanvase, A review on existing and emerging approaches for textile wastewater treatments: challenges and future perspectives, *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 31 (2024) 1748–1789. <https://doi.org/10.1007/S11356-023-31175-3>.
- [6] C. Djilani, R. Zaghdoudi, F. Djazi, B. Boucekima, A. Lallam, A. Modarressi, M. Rogalski, Adsorption of dyes on activated carbon prepared from apricot stones and commercial activated carbon, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 53 (2015) 112–121. <https://doi.org/10.1016/J.JTICE.2015.02.025>.
- [7] C. Zaharia, C.P. Musteret, M.A. Afrasinei, The Use of Coagulation–Flocculation for Industrial Colored Wastewater Treatment—(I) The Application of Hybrid Materials, *Applied Sciences* 14 (2024) 2184. <https://doi.org/10.3390/AP14052184>.
- [8] Z.U. Zango, K.S. Khoo, A.F. Ali, A.Z. Abidin, M.U. Zango, J.W. Lim, I.A. Wadi, M.H. Eisa, R. Alhathloul, S. Abu Alrub, O. Aldaghri, S. Suresh, K.H. Ibnaouf, Development of inorganic and mixed matrix membranes for application in toxic dyes-contaminated industrial effluents with in-situ treatments, *Environ. Res.* 256 (2024) 119235. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2024.119235>.
- [9] V. Singh, C. Pandit, A. Roy, S. Pandit, A.K. Rai, A. Rani, N. Ranjan, S. Rustagi, S. Malik, Degradation of food dyes via biological methods: A state-of-the-art review, *Bioresour. Technol. Rep.* 25 (2024) 101780. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2024.101780>.
- [10] S. Khan, T. Noor, N. Iqbal, L. Yaqoob, Photocatalytic Dye Degradation from Textile Wastewater: A Review, *ACS Omega* 9 (2024) 21751–21767. <https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.4C00887>.
- [11] A.M. Zafar, A. Naeem, M.A. Minhas, M.J. Hasan, S. Rafique, A. Ikhlaiq, Removal of reactive dyes from textile industrial effluent using electrocoagulation in different parametric conditions of aluminum electrodes, *Total Environment Advances* 9 (2024) 200087. <https://doi.org/10.1016/J.TEADVA.2023.200087>.
- [12] G.P.S. Ibrahim, A.M. Isloor, B. Lakshmi, Synthetic polymer-based membranes for dye and pigment removal, in *Synthetic Polymeric Membranes for Advanced Water Treatment, Gas Separation, and Energy Sustainability* (2020) 39–52. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818485-1.00003-4>.
- [13] S. Robinson, S.Z. Abdullah, P. Bérubé, P. Le-Clech, Ageing of membranes for water treatment: Linking changes to performance, *J. Membr. Sci.* 503 (2016) 177–187. <https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2015.12.033>.
- [14] Y. Wei, Y. Zhang, X. Gao, Z. Ma, X. Wang, C. Gao, Multilayered graphene oxide membranes for water treatment: A review, *Carbon* 139 (2018) 964–981. <https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2018.07.040>.
- [15] A. López Amador, A.F. Martínez Ávila, Z.P. Aranda Barrera, M.A. González Reyna, R. Castellanos Espinoza, B.L. España Sánchez, Synthesis of graphene oxide and their incorporation in nanostructured polyethersulfone membranes: Study of antibacterial and dyes adsorption properties, *Polym. Compos.* 44 (2023) 4309–4323. <https://doi.org/10.1002/PC.27411>.
- [16] Y. Sun, W. Zhang, Q. Li, H. Liu, X. Wang, Preparations and applications of zinc oxide based photocatalytic materials, *Advanced Sensor and Energy Materials* 2 (2023) 100069. <https://doi.org/10.1016/J.ASEMS.2023.100069>.
- [17] N. Madkhali, C. Prasad, K. Malkappa, H.Y. Choi, V. Govinda, I. Bahadur, R.A. Abumousa, Recent update on photocatalytic degradation of pollutants in waste water using TiO₂-based heterostructured materials, *Results in Engineering* 17 (2023) 100920. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2023.100920>.
- [18] S. Korkut, V. Vatanpour, I. Koyuncu, Carbon-based quantum dots in fabrication and modification of membranes: A review, *Sep. Purif. Technol.* 326 (2023) 124876. <https://doi.org/10.1016/J.SEPUR.2023.124876>.

- [19] Y. Yu, Z. Zhou, G. Huang, H. Cheng, L. Han, S. Zhao, Y. Chen, F. Meng, Purifying water with silver nanoparticles (AgNPs)-incorporated membranes: Recent advancements and critical challenges, *Water Res.* 222 (2022) 118901. <https://doi.org/10.1016/j.WATRES.2022.118901>.
- [20] M. Alberto, C. Skuse, M. Tamaddondar, P. Gorgojo, Immobilized graphene oxide-based membranes for improved pore wetting resistance in membrane distillation, *Desalination* 537 (2022) 115898. <https://doi.org/10.1016/j.DESAL.2022.115898>.
- [21] Z. Hashmi, I.M. Idriss, F. Gapsari, N. Samsuddin, M.R. Bilad, The role of nanomaterials in enhancing membrane-based treatment for emerging contaminants: A review, *Sustainable Chemistry for Climate Action* 7 (2025) 100092. <https://doi.org/10.1016/j.SCCA.2025.100092>.
- [22] L.N. Nthunya, L. Gutierrez, S. Derese, E.N. Nxumalo, A.R. Verliefe, B.B. Mamba, S.D. Mhlanga, A review of nanoparticle-enhanced membrane distillation membranes: membrane synthesis and applications in water treatment, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 94 (2019) 2757–2771. <https://doi.org/10.1002/JCTB.5977>.
- [23] A. K. Y. Devarajan, Nanomaterials-Based Wastewater Treatment: Addressing Challenges and Advancing Sustainable Solutions, *Bionanoscience* 15 (2025) 1–14. <https://doi.org/10.1007/S12668-024-01780-8>.
- [24] V. Vatanpour, H. Rezaei, M. Al-Shaeli, A. Khataee, Advances in self-cleaning membranes for effective water and wastewater treatment, *Sep. Purif. Technol.* 373 (2025) 133539. <https://doi.org/10.1016/j.SEPPUR.2025.133539>.
- [25] S.T. Ahmad, R. Ahmad, H. Shaukat, P.R. Rout, T. Fazal, A. Dumfort, Bioenergy production from wastewater using cost-effective ceramic membranes: a review, *Environmental Chemistry Letters* 23 (2025) 463–490. <https://doi.org/10.1007/S10311-025-01822-X>.
- [26] R. Castellanos-Espinoza, N. Arjona, B.L. España-Sánchez, Advances in Electrospun Nanostructured Membranes for Wastewater Treatments: Challenges and Opportunities, *Environmental Science and Engineering Part F* 65 (2025) 119–138. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48150-5_7.



Simuladores interactivos en MATLAB: metodología activa para la enseñanza de las matemáticas en ingeniería

Mtro. Marco Antonio Pérez González

Universidad de Colima
marcoperez@ucol.mx

Resumen

La experiencia didáctica descrita en este artículo aborda cómo estudiantes de ingeniería mecánica eléctrica aprenden ecuaciones diferenciales mediante simuladores interactivos desarrollados en MATLAB®, un programa de computación. Se explica de forma sencilla por qué estos entornos, que permiten introducir datos y obtener resultados sin necesidad de conocer todos los cálculos, fomentan la comprensión de conceptos abstractos como el movimiento parabólico. El caso de estudio muestra cómo los alumnos crean un simulador desde el modelo matemático hasta la interfaz gráfica, desarrollando habilidades como el pensamiento crítico, el trabajo en equipo y la capacidad de explicar lo aprendido. Además, se observó que la práctica mejora las calificaciones y despierta interés por la tecnología. El artículo señala también la necesidad de aumentar el realismo de los simuladores y de emplear métodos estadísticos que evalúen su eficacia. La propuesta contribuye a democratizar el acceso a herramientas educativas digitales en contextos con recursos limitados y subraya el valor de innovar en la enseñanza de la ciencia y la tecnología.

Antecedentes

La enseñanza de las matemáticas y de las ciencias básicas se enfrenta a retos históricos. En muchos casos, la complejidad de esos desafíos ha superado la eficacia del docente, en parte porque los enfoques tradicionales no logran promover aprendizajes profundos [1]. Factores económicos, socioculturales y de inclusión agravan las problemáticas en los distintos niveles educativos [2], [3]. Para responder a estas dificultades en la formación universitaria,

especialmente en las ingenierías, se han explorado enfoques, estrategias y recursos que fortalecen la comprensión conceptual, fomentan el aprendizaje activo y favorecen la transferencia del conocimiento a contextos reales. Este cambio de paradigma se basa en revisiones de metodologías activas en ingeniería [4] y en la teoría del alineamiento constructivo, que ha influido en el diseño curricular por competencias [5]. Desde esta perspectiva se distinguen tres categorías

clave: enfoques pedagógicos generales, estrategias didácticas específicas y recursos tecnológicos mediadores.

Enfoques pedagógicos generales

Estos enfoques promueven la autonomía del estudiante y la transferencia del conocimiento. El aprendizaje basado en problemas (ABP) busca que los estudiantes apliquen sus conocimientos a situaciones reales o académicas [6]–[9], estimulando la creatividad y el pensamiento crítico. La resolución de problemas desarrolla la comprensión conceptual mediante situaciones que exigen modelado, análisis y toma de decisiones [10], [11]. El aprendizaje colaborativo, por su parte, resalta la construcción social del aprendizaje y fomenta el trabajo en equipo, lo que favorece la retención y la construcción de conocimiento significativo [12].

Estrategias didácticas específicas

Estas estrategias operativizan los principios del aprendizaje activo. La instrucción entre pares (Peer Instruction) consiste en formular preguntas conceptuales, debatirlas en pequeños grupos y volver a responder [13], reforzando la comprensión y detectando concepciones erróneas. Las demostraciones interactivas en clase (Interactive Lecture Demonstrations, ILD) combinan predicciones y demostraciones experimentales con discusiones guiadas, propiciando rupturas cognitivas constructivas [14]. Los tutoriales de McDermott son guías de trabajo que llevan al estudiante a construir modelos conceptuales mediante preguntas secuenciadas [15]. El modelado matemático contextualizado integra herramientas matemáticas con la resolución de situaciones reales, permitiendo traducir problemas al lenguaje matemático y validar soluciones [16].

Recursos tecnológicos mediadores

Los recursos digitales permiten visualizar y explorar fenómenos matemáticos. Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) facilitan representaciones simbólicas, gráficas y numéricas [17], [18]. Los simuladores y entornos interactivos permiten manipular variables y observar el comportamiento de sistemas en tiempo real. Los sistemas de álgebra computacional (CAS) como Mathematica®, Maple® o MATLAB® centran

el esfuerzo en el análisis e interpretación de resultados [18]. Finalmente, plataformas de gestión del aprendizaje como Moodle o Canvas, junto con recursos adaptativos, integran metodologías activas y promueven aprendizaje autónomo y retroalimentación constante [19].

Estas prácticas se desarrollan en un contexto influido por transformaciones pedagógicas y factores sociales, institucionales y políticos. A lo largo del tiempo, reformas curriculares y políticas educativas han impulsado, en mayor o menor medida, la adopción de metodologías activas y la incorporación de tecnologías en el aula. Como resultado, se ha creado un ecosistema didáctico dinámico en constante construcción, en el que la enseñanza de las ciencias básicas va más allá de la transmisión de contenidos y busca desarrollar habilidades, actitudes y formas de pensamiento científico que respondan a los desafíos contemporáneos y a las exigencias del entorno profesional donde se insertan los futuros ingenieros.

La estrategia de simuladores digitales

El uso de simuladores digitales en la enseñanza de las ciencias básicas se ha consolidado como una estrategia eficaz para mejorar la comprensión de fenómenos complejos mediante la interacción con representaciones visuales y dinámicas. Estos entornos permiten a los estudiantes experimentar con variables, visualizar el comportamiento de los sistemas y desarrollar habilidades de análisis sin depender de laboratorios físicos costosos o de difícil acceso. Algunos autores señalan que los simuladores ofrecen un entorno ideal para el aprendizaje basado en el descubrimiento guiado y favorecen la construcción activa del conocimiento [20]. Revisiones más recientes confirman que la integración de simulaciones en entornos educativos mejora el rendimiento académico y el compromiso del estudiante en contextos de ciencia e ingeniería [21].

La adopción de simuladores digitales empezó en programas de posgrado y en universidades con acceso privilegiado a tecnologías computacionales, como lo muestran los desarrollos y primeras aplicaciones de herramientas como MATLAB®, ANSYS® (software de simulación de fluidos), LabVIEW® (entorno de programación gráfica) o

PhET® (plataforma de simulaciones interactivas) [22]–[25]. En ingenierías orientadas a la infraestructura tecnológica, como la ingeniería eléctrica, el alto costo de los equipos reales ha motivado el uso de modelos computacionales como alternativa accesible. Este fenómeno es particularmente evidente en instituciones de países con economías emergentes, donde el uso de simuladores permite una formación rigurosa y práctica sin inversiones que a menudo resultan inviables.

Numerosos estudios documentan los beneficios de los simuladores en la educación científica. Se ha destacado que estas herramientas facilitan la apropiación rigurosa de conceptos teóricos complejos [26], analizan la transferencia del conocimiento mediante plataformas interactivas [27] y examinan la eficiencia en el uso de la infraestructura gracias a la virtualización de prácticas [28]. Estas investigaciones coinciden en que el uso didáctico de los simuladores no solo mejora la comprensión conceptual, sino que también democratiza el acceso a experiencias formativas avanzadas, independientemente de los recursos disponibles en cada institución.

Propósito de este trabajo

Este artículo busca divulgar una experiencia metodológica basada en el uso de simuladores digitales como herramienta didáctica para la enseñanza de las matemáticas en carreras de ingeniería. Presenta una propuesta de implementación centrada en el desarrollo y aplicación de un simulador diseñado en MATLAB®, acompañada del análisis de la experiencia de un estudiante que interactuó con la herramienta como parte de una estrategia de aprendizaje autónomo y colaborativo. Se pretende ilustrar las posibilidades pedagógicas del uso de simuladores en el aula e invitar a otros docentes a reflexionar y adaptar esta propuesta a sus contextos, más que establecer una receta universal.

Contexto de aplicación

En la enseñanza de las ciencias básicas en carreras de ingeniería y tecnología es habitual buscar estrategias que fomenten la comprensión profunda de los conceptos teóricos mediante el desarrollo de herramientas digitales. Una de estas estrategias consiste en motivar a los estudiantes a construir

programas sencillos que apoyen su aprendizaje, tanto en clase como en tareas complementarias. Dependiendo del problema abordado, el uso de software puede ser indispensable para obtener resultados numéricos o visuales o convertirse en un recurso didáctico poderoso aun cuando existan soluciones analíticas accesibles, ya que el proceso de programación favorece la interiorización de conceptos abstractos.

En este artículo se presenta una experiencia implementada en el curso de ecuaciones diferenciales para estudiantes de segundo semestre de Ingeniería Mecánica Eléctrica (IME) en la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima. El grupo estaba integrado por 36 estudiantes (34 hombres y 2 mujeres), y el proyecto fue desarrollado por un equipo de dos estudiantes como parte de una estrategia pedagógica que se ha aplicado de forma sistemática en esa asignatura durante los últimos quince años. El objetivo es que los estudiantes diseñen simuladores tipo “caja negra” en MATLAB®, en los que el usuario introduce parámetros definidos y el sistema devuelve gráficos o valores que ayudan a visualizar la solución del problema sin exponer los procedimientos internos.

El procedimiento que siguen los estudiantes inicia con la modelación del problema, que puede tomarse de un libro clásico o ser propuesto por el docente. Una vez definido el modelo general, se parametrizan las constantes y se obtiene una solución analítica simbólica —cuando es posible— utilizando lápiz y papel. A partir de esta solución se desarrolla un código en MATLAB® que implementa el algoritmo y genera los resultados gráficos. Con la herramienta GUIDE® (entorno de desarrollo de interfaces gráficas de usuario), se construye además una interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés Graphical User Interface) que permite introducir los valores de entrada y visualizar los resultados de forma intuitiva, como se muestra en la Figura 1.

Este procedimiento se aplica incluso con estudiantes sin experiencia previa en programación. La actividad resulta enriquecedora porque evidencia una transición en la forma en que el conocimiento se construye, integrando no solo contenidos disciplinares, sino también habilidades generales como el trabajo colaborativo, la comunicación y la resolución de problemas.

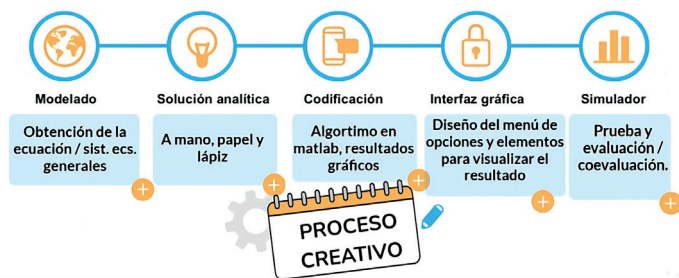


Figura 1. Proceso de creación de un simulador desarrollado en clases de ciencias básicas impartidas por el autor.

Este procedimiento se aplica incluso con estudiantes sin experiencia previa en programación. La actividad resulta enriquecedora porque evidencia una transición en la forma en que el conocimiento se construye, integrando no solo contenidos disciplinares, sino también habilidades generales como el trabajo colaborativo, la comunicación y la resolución de problemas. El desarrollo del simulador se organiza a lo largo del semestre como una actividad transversal. Al final del curso se realiza una sesión plenaria en la que cada equipo presenta su simulador. Durante estas sesiones se promueven dinámicas de retroalimentación, como lluvia de ideas, debates dirigidos y coevaluación entre pares, lo que ha favorecido tanto el compromiso de los estudiantes como una mejora continua de la calidad de los proyectos.

Diseño e implementación de un simulador estudiantil: el caso de "Projectile_Motion"

Projectile_Motion es un simulador que hace referencia al movimiento de un proyectil y, como se mencionó, fue el trabajo de clase de un par de estudiantes de ecuaciones diferenciales. El problema original se toma de la sección 4.9 del texto clásico [29]. En él se plantea el tiro parabólico: un proyectil se lanza con una inclinación y una velocidad de salida determinadas y, entre otras cosas, debe determinarse el alcance máximo del proyectil en las direcciones horizontal y vertical.

Se plantea el siguiente sistema desacoplado de ecuaciones diferenciales (ec. 1):

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v_0 \cos \theta \\ \frac{dy}{dt} = v_0 \sin \theta - gt \end{cases} \quad \begin{cases} x(0) = x_0 \\ y(0) = y_0 \end{cases}$$

Donde x es el alcance horizontal, y es la altura alcanzada, v_0 es la velocidad inicial, θ es el ángulo de lanzamiento, g es la aceleración de la gravedad y t es el tiempo. Resolviendo por separado ambas direcciones y haciendo las sustituciones adecuadas para eliminar la dependencia temporal se obtiene la expresión funcional $y = f(x, g, \theta, v_0)$ (ec. 2).

$$y = x \tan \theta - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} x^2$$

Este resultado es útil para visualizar y analizar gráficamente la trayectoria, pues permite generar una gráfica en el plano x - y donde ambas variables dependen del lanzamiento.

Una vez obtenido el modelo y su solución, se implementa el código en MATLAB®. La Figura 2 muestra detalles de diferentes secciones del código.

```

2 % PROJECTILE_MOTION MATLAB code for Projectile_Motion.
3 % PROJECTILE_MOTION, by itself, creates a new PRC
4 % singleton*.
5 %
6 % H = PROJECTILE_MOTION returns the handle to a n
7 % the existing singleton*.
84 x0 = str2num(get(handles.edit1,'String'));
85 y0 = str2num(get(handles.edit2,'String'));
86 v0 = str2num(get(handles.edit3,'String'));
87 angle = str2num(get(handles.edit4,'String'));
88 g = str2num(get(handles.edit5,'String'));
89
90 if isempty(x0) || isempty(y0) || isempty(v0) || iser
91     msgbox('Ingresa los datos!','Mensaje'); % mostr
92 else
93
94     anglerrad = angle * (pi./180);           %% Convert
95     xmax = (v0.^2)./g * sin(2*anglerrad);    %% Calcula
96     xstep = xmax ./ 100;                    %% Calcula
97
98
99     x = x0:xstep:xmax;
100    y = (x * tan(anglerrad) - g/(2*(v0.^2)*(cos(anglerrad)).

```

Figura 2. Detalle de diferentes secciones del código en MATLAB®.

De manera paralela al desarrollo del modelo matemático y su implementación computacional, se desarrolló la interfaz gráfica de usuario (GUI) utilizando el entorno GUIDE®. Para la versión final del simulador que se presentó en clase se acordó un diseño con funcionalidades clave, descritas en la Tabla 1.

Tabla 1. Características funcionales del simulador.

Sección	Función
Condiciones iniciales	Permite al usuario ingresar los parámetros de simulación (velocidad, ángulo, posición inicial, etc.).
Plano x–y	Genera la gráfica de la trayectoria resultante del proyectil.
Resultados	Además de la gráfica, muestra los valores del alcance máximo en las direcciones horizontal y vertical.
Botones de acción	Incluyen funciones para graficar la trayectoria, borrar los resultados o generar automáticamente parámetros aleatorios para la simulación.
Ayuda	Ofrece una descripción concisa del objetivo del simulador y del proceso simplificado de resolución analítica.
Documentación adicional	Proporciona enlaces a recursos audiovisuales complementarios y acceso al repositorio del curso con las notas y materiales temáticos.

Una extensión funcional permite modificar el valor de la aceleración de la gravedad para simular el experimento no solo en la Tierra, sino también en otros cuerpos del sistema solar. Para ello se incluye una sección específica donde el usuario puede seleccionar el planeta sobre el cual se realizará la simulación. Las Figuras 3 y 4 muestran aspectos del proceso de diseño de la interfaz gráfica, tanto en su etapa de construcción como en su versión final.

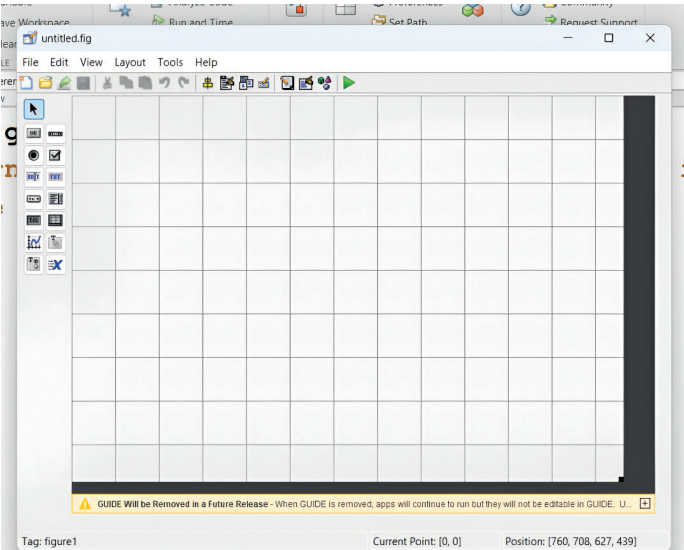


Figura 3. Área de diseño gráfico de la GUI, vacía por defecto.

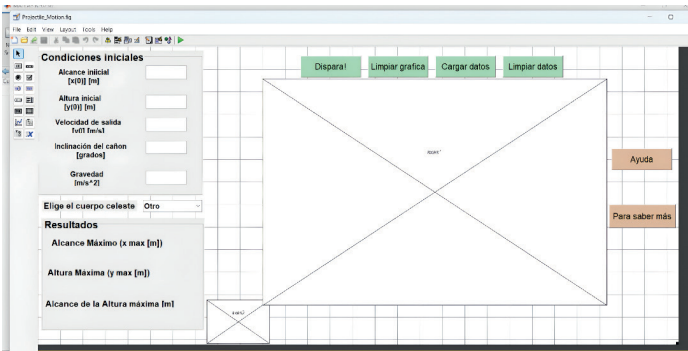


Figura 4. Diseño final de la GUI con los elementos necesarios para ser usada como recurso educativo digital.

Para ilustrar el uso de la herramienta, las Figuras 5, 6 y 7 muestran los resultados de una simulación, el menú de ayuda y la sección para obtener más recursos audiovisuales.

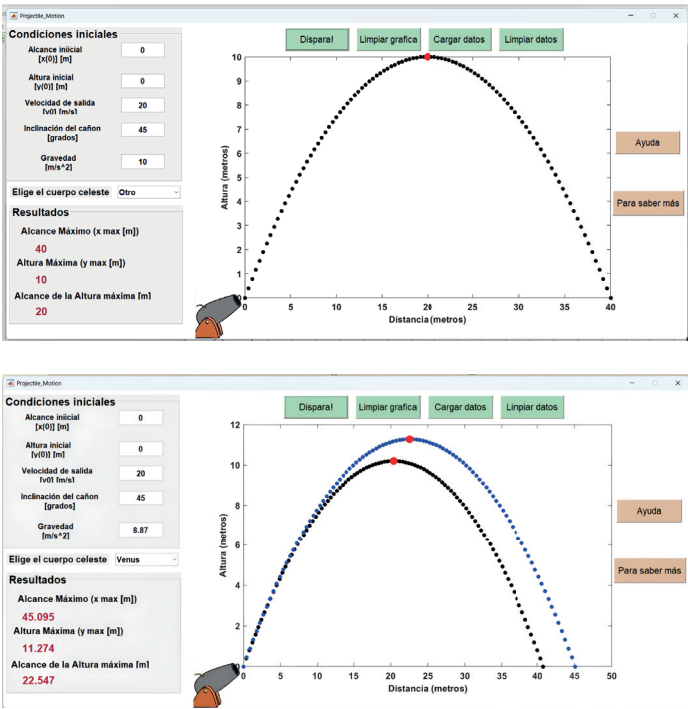


Figura 5. a) Resultados de una simulación realizada. b) Comparación de dos casos.

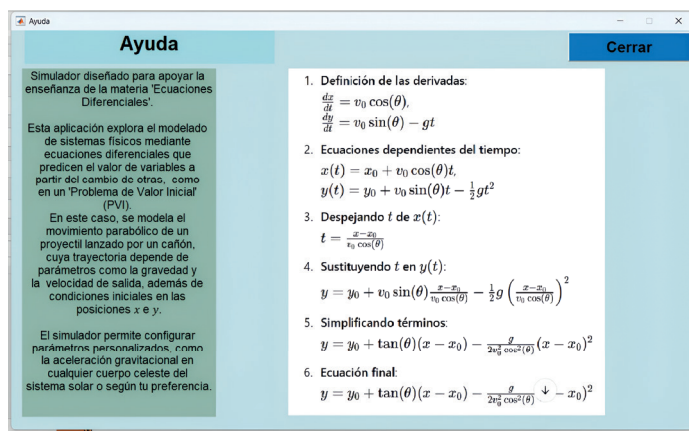


Figura 6. Menú de ayuda con la fundamentación y solución del problema analítico.

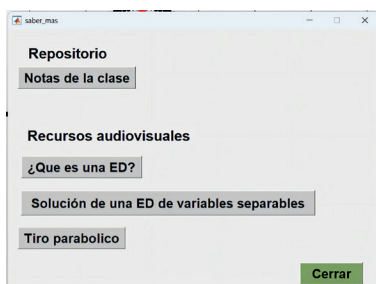


Figura 7. Menú para obtener recursos educativos adicionales.

Impacto del simulador en el aprendizaje: experiencia y rendimiento de los estudiantes

El simulador, junto con sus menús de ayuda y elementos complementarios, constituye un recurso educativo digital (RED) porque es un material en formato digital que facilita y enriquece la experiencia educativa, promoviendo el aprendizaje de manera interactiva y accesible.

Esta herramienta no solo sistematiza la resolución de un problema general; también invita al estudiante a construir conocimientos adicionales, fomentando un aprendizaje profundo y significativo. Al permitir la realización de múltiples experimentos mediante ajustes ilimitados en los datos de entrada, los resultados pueden organizarse en forma tabular o gráfica, lo que facilita su análisis y comprensión. Estas funcionalidades surgen en la etapa de pruebas, ya que las dudas generadas por la variabilidad de los resultados llevan al estudiante a replantearse si el simulador responde correctamente al problema y si la forma de

presentar los resultados es la más adecuada.

A menudo se solicita al estudiante que reflexione sobre las capacidades de uso del simulador y se le anima a generar la documentación necesaria para su correcta utilización. Esta práctica permite trabajar diversos aspectos del desarrollo académico, como la capacidad de síntesis, al observar cómo el alumno realiza suficientes simulaciones para identificar escenarios generalizados que luego contextualiza. En algunos casos, el estudiante logra transferir este conocimiento a otras asignaturas del plan de estudios, ampliando así su comprensión y habilidades.

La implementación de este y otros desarrollos en colaboración con los estudiantes ha demostrado proporcionarles un notable sentido de logro. Esta experiencia les permite abordar las matemáticas desde múltiples enfoques, enriqueciendo su aprendizaje con conocimientos adicionales. Estos hallazgos se derivan de una observación sistemática realizada durante más de una década, apoyada en productos entregables como manuales técnicos, informes, presentaciones, rúbricas de evaluación y, en años recientes, ejercicios de autoevaluación y coevaluación. Aunque este artículo no pretende realizar un análisis estadístico formal, se han recogido datos cuantitativos representativos que respaldan las observaciones previas. La Tabla 2 muestra resultados agregados correspondientes a distintos ciclos escolares que permiten identificar patrones de participación, desempeño académico y habilidades desarrolladas por los estudiantes en torno al uso del simulador.

Tabla 2. Datos cuantitativos sobre el impacto de la actividad en el rendimiento del estudiante.

Fuente: datos históricos de los cursos impartidos por el autor.

* Dato disponible a partir de 2020.

Indicador	Clase 2023	Clases 2014-2022
Equipos formados e integrantes	18 equipos de 2 personas	93 equipos con promedio de 4,4 integrantes
Tiempo invertido en la actividad	1 mes	1,4 meses
Equipos con proyectos sobresalientes	4 de 18	12 de 93
Alumnos que concluyeron el simulador	34 de 36 (94,4 %)	339 de 351 (96,6 %)
Calificación promedio obtenida en esta actividad	89,7 %	86,9 %

Indicador	Clase 2023	Clases 2014-2022
Calificación en evaluación escrita de alumnos que no superaron el 80 % de la calificación en el simulador	35,6 %	30,9 %
Calificación en evaluación escrita de alumnos que superaron el 80 % de la calificación en el simulador	60,9 %	58,6 %
Calificación promedio obtenida por el grupo	81,0 %	80,3 %
Autoevaluación y coevaluación *	94,3 %	95,6 %

Conclusión

La experiencia acumulada en el desarrollo e implementación de este tipo de actividades permite afirmar que los simuladores digitales pueden tener un impacto significativo en el aprendizaje dentro del aula de ciencias básicas, tanto a nivel conceptual como en el desarrollo de habilidades transversales.

- Los estudiantes manifiestan un notable sentido de logro y satisfacción personal, en especial al completar una tarea que inicialmente perciben como compleja y, en algunos casos, al presentar sus simuladores en ferias profesigráficas o foros técnico científicos.

- Las calificaciones obtenidas en esta actividad tienden a ser altas, ya que la mayoría cumple con los requisitos evaluativos y alcanza los puntajes esperados, contribuyendo así al desempeño general en la asignatura.

- Se promueven competencias adicionales como el trabajo colaborativo, el diseño de cronogramas, la documentación técnica, la comunicación académica y la capacidad de análisis gráfico, todas relevantes en la formación de ingenieros.

Desde la perspectiva docente, esta estrategia se ha mantenido en evolución durante más de quince años. Su implementación ha permitido desarrollar una dinámica pedagógica activa y significativa, con efectos positivos observados en múltiples generaciones de estudiantes. Se reconoce que existen áreas de mejora, particularmente en la sistematización de los instrumentos de evaluación. Aunque en distintas cohortes se han utilizado encuestas, formularios de percepción y ejercicios de autoevaluación y coevaluación, su aplicación no ha sido continua ni con fines comparativos estandarizados.

Por esta razón, aunque el enfoque de evaluación se ha basado principalmente en evidencias de desempeño observable —como la funcionalidad del simulador, la claridad de los informes, la capacidad de análisis y la relación con los resultados en pruebas escritas—, se considera valioso incorporar en futuras ediciones instrumentos validados que complementen este enfoque. Entre ellos podrían incluirse herramientas centradas en el aprendizaje conceptual (por ejemplo, la ganancia de Hake) o encuestas estandarizadas sobre colaboración y uso de tecnología.

Finalmente, aunque esta estrategia ha demostrado su viabilidad técnica y didáctica en el aula, su potencial podría ampliarse mediante proyectos de colaboración multidisciplinaria que integren habilidades avanzadas en computación, diseño instruccional y análisis educativo. Este horizonte no solo enriquecería la calidad de los simuladores, sino también su utilidad como herramientas transferibles a otras áreas del currículo de ingeniería.

Referencias

- [1] M. de Guzmán, «Enseñanza de las ciencias y la matemática», Revista Iberoamericana de Educación, vol. 43, n.º 1, pp. 19–58, 2007. Disponible en: <https://rieoei.org/rie/article/view/750>
- [2] C. Fuentes, «La diversidad más allá de la asimilación: Una aproximación desde el enfoque sociopolítico en educación matemática», Revista Latinoamericana de Etnomatemática, vol. 15, n.º 1, pp. 81–108, 2022. doi: <https://doi.org/10.22267/relatem.22151.89>
- [3] P. A. Peña Rincón, «Inclusión de conocimientos matemáticos locales en los currículos de matemáticas en situaciones de interculturalidad», Revista Científica, vol. 20, n.º 3, pp. 153–157, 2014. doi: <https://doi.org/10.14483/23448350.7698>
- [4] M. J. Prince y R. M. Felder, «Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases», Journal of Engineering Education, vol. 95, n.º 2, pp. 123–138, 2006. doi: <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>
- [5] J. Biggs y C. Tang, Teaching for Quality Learning at University, 3.ª ed. Open University Press, 2007.
- [6] H. S. Barrows y R. M. Tamblyn, Problem Based Learning: An Approach to Medical Education. Springer Publishing Company, 1980.
- [7] D. Boud y G. Feletti, The Challenge of Problem Based Learning, 2.ª ed. Kogan Page, 1997.
- [8] J. R. Savery y T. M. Duffy, «Problem based learning: An instructional model and its constructivist framework», Educational Technology, vol. 35, n.º 5, pp. 31–38, 1995

- [9] L. E. Giler Velásquez, «Estrategias de enseñanza de la matemática en la formación de profesionales de la ingeniería», *Dominio de las Ciencias*, vol. 6, n.º extra 3, pp. 273–285, 2020. Disponible en: <https://dominodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1397>
- [10] G. Pólya, *How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method*, 2.ª ed. Princeton University Press, 1957.
- [11] A. H. Schoenfeld, «Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense making in mathematics», en *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*, D. A. Grouws, Ed., New York: Macmillan, 1992, pp. 334–370.
- [12] D. W. Johnson y R. T. Johnson, *Learning Together and Alone: Cooperative, Competitive, and Individualistic Learning*, 5.ª ed. Allyn & Bacon, 1994.
- [13] E. Mazur, *Peer Instruction: A User's Manual*. Prentice Hall, 1997.
- [14] D. R. Sokoloff y R. K. Thornton, «Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment», *The Physics Teacher*, vol. 35, n.º 6, pp. 340–347, 1997. doi: <https://doi.org/10.1119/1.2344715>
- [15] L. C. McDermott, P. S. Shaffer y el Physics Education Group de la Universidad de Washington, *Tutorials in Introductory Physics*. Prentice Hall, 1998.
- [16] W. Blum y D. Leiß, «How do students and teachers deal with modelling problems?», en *Mathematical Modelling (ICTMA 12): Education, Engineering and Economics*, C. Haines, P. Galbraith, W. Blum y S. Khan, Eds. Horwood Publishing, 2007, pp. 222–231.
- [17] J. J. Kaput, «Technology and mathematics education», en *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*, D. A. Grouws, Ed. Macmillan, 1992, pp. 515–556.
- [18] M. K. Heid, «Resequencing skills and concepts in applied calculus using the computer as a tool», *Journal for Research in Mathematics Education*, vol. 19, n.º 1, pp. 3–25, 1988. doi: <https://doi.org/10.2307/749108>
- [19] G. Hwang, M. Flavin y Y. H. Lee, «A comprehensive review of mathematics education and digital technology from 1981 to 2022», *Computers & Education*, vol. 199, art. no. 104801, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104801>
- [20] T. de Jong y W. R. van Joolingen, «Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains», *Review of Educational Research*, vol. 68, n.º 2, pp. 179–201, 1998. doi: <https://doi.org/10.3102/00346543068002179>
- [21] N. Rutten, W. R. van Joolingen y J. T. van der Veen, «The learning effects of computer simulations in science education», *Computers & Education*, vol. 58, n.º 1, pp. 136–153, 2012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- [22] C. Moler, «A brief history of MATLAB», MathWorks, 2004. [En línea]. Disponible en: <https://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/a-brief-history-of-matlab.html>
- [23] ANSYS, «ANSYS Fluent: A history of innovations in CFD», 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.ansys.com/blog/ansys-fluent-history-of-innovations>
- [24] V. L. Almstrum, M. Bonner, S. Gorka y D. Joyner, «Introducing LabVIEW to students has a positive impact on their learning», *International Journal of Modern Engineering*, vol. 6, n.º 1, 2006. [En línea]. Disponible en: https://ijme.us/cd_06/PDF/ENT%20P501-123.pdf
- [25] C. E. Wieman, W. K. Adams y K. K. Perkins, «PhET: Simulations that enhance learning», *Science*, vol. 322, n.º 5902, pp. 682–683, 2008. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1161948>
- [26] J. L. Roca García, D. G. Olaya Gil y M. D. Guartatanga Faicán, «Uso de los simuladores y modelos computacionales en el aprendizaje de la ingeniería», *Ibero American Journal of Engineering & Technology Studies*, vol. 4, n.º 2, 2024. doi: <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v4i2.647>
- [27] G. Contreras Gelves, R. García Torres y M. S. Ramírez Montoya, «Uso de simuladores como recurso digital para la transferencia de conocimiento», *Apertura*, vol. 2, n.º 2, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura/article/view/22>
- [28] R. Hurtado Rangel, L. E. Murillo Yáñez y A. T. Ávalos Bravo, «Importancia del uso de simuladores educativos para la formación de estudiantes de ingeniería», *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, vol. 4, n.º 4, pp. 78–81, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://zaloamati.azc.uam.mx/bitstreams/27e326f3-8d10-4ab8-8ee7-94d6dad619f5/download>
- [29] D. G. Zill, *A First Course in Differential Equations with Modeling Applications*, 10.ª ed. Cengage Learning, 2012.



Fotoacústica: estudiar la materia escuchando la luz

Ing. Francisco Javier Castillo Romero

Instituto Tecnológico de Orizaba

Dr. Jose de Jesus Agustin Flores Cuautle

Secihti-Instituto Tecnológico de Orizaba

Dr. Oscar Osvaldo Sandoval Gonzalez

Instituto Tecnológico de Orizaba

***Dra. Gemima Lara Hernández**

Instituto Tecnológico de Orizaba.

larag_139@hotmail.com



Resumen

El efecto fotoacústico ocurre cuando la luz es absorbida por un material y provoca pequeños cambios de temperatura y vibraciones que se transforman en sonido detectable mediante sensores. Este fenómeno, descubierto en el siglo XIX, ha cobrado gran relevancia gracias al desarrollo de nuevas tecnologías que permiten aprovecharlo en distintos campos. En este artículo se explica de manera sencilla cómo se origina el efecto fotoacústico y se muestran ejemplos de sus aplicaciones en áreas tan diversas como la medicina, donde se utiliza para obtener imágenes no invasivas de tejidos, la agricultura, para mejorar la calidad de los cultivos y alimentos, o el medio ambiente, al facilitar la detección de contaminantes en el aire y el agua. Más allá del interés científico, la fotoacústica representa una herramienta prometedora con beneficios directos para la salud, la industria y el cuidado del entorno.

Introducción

En física, el estudio del calor y del sonido suele considerarse como áreas separadas. Sin embargo, existe una zona de convergencia entre ambas, especialmente cuando

la luz es absorbida por un material y produce calor y vibraciones. Este fenómeno ha generado interés en distintas disciplinas.

En particular, el efecto fotoacústico se refiere a la generación de ondas sonoras como consecuencia de la absorción de luz. Este fenómeno fue reportado por primera vez por Alexander Graham Bell alrededor de 1880, aunque en ese entonces se consideró una curiosidad científica. Hoy en día, gracias al desarrollo de nuevos instrumentos de medición y al avance en el procesamiento de datos, su estudio ha resurgido, encontrando aplicaciones en diversos campos (Figura 1).

En el ámbito de la salud, esta técnica resulta especialmente valiosa porque permite obtener información útil para el diagnóstico médico sin dañar las muestras analizadas; es decir, es una técnica no invasiva. Este trabajo recorre algunas de las áreas en las cuales la fotoacústica ha generado resultados de interés tanto para la comunidad científica como para el público en general.

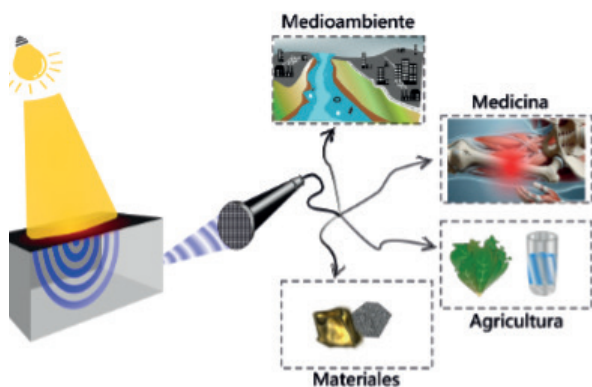


Figura 1. Algunas áreas de estudio del efecto fotoacústico.

Desarrollo

La luz puede definirse como una forma de energía visible que se propaga en forma de ondas, conocidas como radiación electromagnética. Cuando la luz incide sobre un material, su energía puede ser absorbida, generando distintos efectos, como el efecto fototérmico o el efecto fotoacústico [1].

El efecto fototérmico consiste en el aumento de temperatura de un material al absorber luz. Por su parte, el efecto fotoacústico se refiere a la expansión y contracción del material como consecuencia de dicha absorción, lo que produce ondas de presión que se manifiestan como sonido [2, 3]. Estas ondas sonoras pueden ser detectadas mediante sensores acústicos,

como micrófonos o materiales piezoeléctricos (materiales que generan voltaje al ser comprimidos). Al conjunto de técnicas que estudian estos fenómenos se le conoce como técnicas fotoacústicas. La Figura 2 muestra una representación de los diferentes fenómenos asociados con la interacción de la luz con la materia.



Figura 2. Efectos físicos de la interacción de la luz con la materia.

A través de estas técnicas es posible estudiar el coeficiente de absorción óptico, que indica cuánta luz absorbe un material en función de sus propiedades y del color (longitud de onda) de la luz empleada [1]. Es importante destacar que las ondas generadas por el efecto fotoacústico dependen en gran medida tanto del color de la luz como de este coeficiente.

Además, como la absorción de luz también genera calor, es posible investigar las propiedades térmicas de los materiales, es decir, cómo se comporta el calor en su interior.

Una configuración común en estos estudios es la celda fotoacústica abierta, que consiste en un micrófono sobre el cual se coloca la muestra, mientras se ilumina desde el lado opuesto. Esta configuración permite medir la difusividad térmica, que describe la velocidad a la que un cambio de temperatura en un punto del material se transmite a otro. Esta propiedad puede determinarse en materiales transparentes (que permiten el paso de la luz) y opacos (que no lo permiten).

A continuación, se describen algunas de las áreas en las que se ha utilizado con éxito esta técnica.

Aplicaciones en los materiales

En el estudio de materiales, la técnica fotoacústica (PA, por sus siglas en inglés) se utiliza para analizar propiedades ópticas, es decir, cómo se comporta la luz al interactuar con diferentes sustancias. Específicamente, permite caracterizar el espectro de absorción fotoacústico y estimar de manera cualitativa el coeficiente de absorción óptico. También se pueden investigar las propiedades térmicas y mecánicas de materiales como polímeros, semiconductores y tejidos biológicos [4].

Una aplicación destacada es la detección de defectos internos en materiales. Por ejemplo, Setiawan y colaboradores reportaron la identificación de imperfecciones en láminas de aluminio de 300 micras de espesor, a profundidades entre 215 y 254 micras [5]. Para ponerlo en contexto, un cabello humano tiene un grosor aproximado de 100 micras.

Asimismo, esta técnica se ha utilizado para medir la dureza de metales y el espesor de capas de pintura, lo cual es valioso en el control de calidad industrial. En industrias como la aeronáutica, el grosor de la pintura es crucial tanto por la cantidad utilizada como por el peso añadido. Investigadores griegos han reportado mediciones en capas de 50, 100 y 200 micras [6]; nótese que muchas marcas de papel aluminio tienen un grosor de 50 micras.

Impacto ambiental

La técnica fotoacústica también se ha empleado para medir la concentración de gases, algo especialmente útil en el monitoreo ambiental. Por ejemplo, Rück y colaboradores reportaron la detección de dióxido de nitrógeno (NO_2) en concentraciones de 20 partes por millón (ppm) [7], un gas corrosivo que puede encontrarse en la atmósfera como resultado de actividades humanas. También se ha detectado dióxido de carbono (CO_2) a concentraciones de 2500 ppm y monóxido de carbono (CO) hasta en 70 ppm [8].

En el agua, el fenómeno fotoacústico ha permitido detectar contaminantes como el paracetamol, microplásticos de PET (polietileno tereftalato) y algas. Grzegorzcyk y su equipo evaluaron la sensibilidad de esta técnica para el monitoreo de estas sustancias [9].

Usos en la agricultura

El sector alimentario también se ha beneficiado de la fotoacústica. Diversas bebidas, vegetales, granos, frutas y alimentos procesados han sido estudiados con esta técnica. Por ejemplo, Bicanic analizó el espectro de absorción en granos de maíz y café para evaluar su calidad [10]. Estudios adicionales han demostrado que es posible distinguir entre café orgánico y convencional utilizando espectroscopía fotoacústica en el infrarrojo [11, 12].

Los carotenoides, pigmentos que dan color a frutas y verduras, han sido estudiados en productos como leche y leche en polvo, así como en vegetales como espinaca, lechuga, rábano y chiles, utilizando espectros fotoacústicos [13, 14].

Además, Lara y colaboradores midieron las propiedades térmicas del maíz con el objetivo de mejorar los procesos industriales a gran escala [15].

Otro uso importante es la detección de residuos agrícolas como pesticidas. Lv y su equipo detectaron el fungicida tricyclazole en hojas de arroz [16], mientras que Baptista estudió residuos de amonio en cultivos brasileños [17]. Gordillo, por su parte, utilizó la técnica fotoacústica para determinar la dosis óptima de fertilizantes en maíz midiendo la fotosíntesis en hojas tratadas con diferentes concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio [18].

Algunas aplicaciones médicas

Uno de los campos donde la técnica fotoacústica ha tenido mayor impacto es la medicina, gracias a que los diferentes órganos, tejidos y fluidos corporales tienen coeficientes de absorción óptica distintos dependiendo de la longitud de onda de la luz utilizada [19, 20].

La hemoglobina, proteína que transporta oxígeno en la sangre, presenta comportamientos distintos dependiendo de si está oxigenada o no. La hemoglobina oxigenada absorbe más luz infrarroja, mientras que la desoxigenada absorbe más luz roja [21]. Este principio se emplea en los oxímetros para medir la oxigenación de la sangre y, cuando se combina con técnicas fotoacústicas, permite obtener imágenes (Figura 3) que distinguen arterias (sangre oxigenada) de venas (sangre desoxigenada).

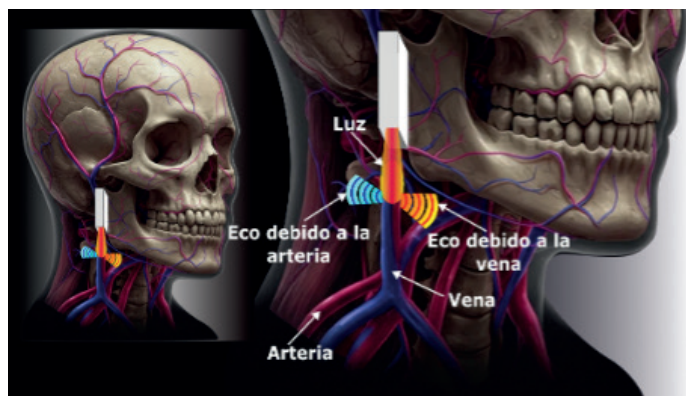


Figura 3. Esquema conceptual que ilustra cómo la diferencia en el coeficiente de absorción entre venas y arterias permite diferenciar entre ambas estructuras.

Cuando la fotoacústica se combina con técnicas de imagen por ultrasonido, se obtiene una modalidad llamada imagenología funcional [22], que genera imágenes enriquecidas con información sobre el consumo de oxígeno en los tejidos. Esto es particularmente útil en el diagnóstico de enfermedades vasculares y otras patologías [23].

Además, como los tumores desarrollan nuevas redes vasculares para alimentarse, la fotoacústica puede detectar estas estructuras en etapas tempranas. Esto se ha aprovechado para detectar cáncer de piel, mama, ovario y próstata [21].

Otro avance importante fue logrado por Zhang y su equipo, quienes utilizaron tomografía fotoacústica para obtener imágenes de la dinámica sanguínea en cerebros de ratones, facilitando el estudio del origen de enfermedades neurológicas [24].

Conclusión

Aunque la obtención de imágenes basada en el efecto fotoacústico ha mostrado avances significativos, aún existen retos por superar, como mejorar la resolución, reducir el costo y aumentar la portabilidad de los equipos. Además, las aplicaciones clínicas están limitadas por la profundidad de penetración que se puede alcanzar con esta técnica. Queda también un amplio campo por explorar en el estudio de células, proteínas e interacciones moleculares.

El desarrollo tecnológico —incluyendo mejoras en instrumentación, análisis de datos e integración con inteligencia artificial— ha ampliado las posibili-

dades de la técnica fotoacústica, especialmente en el análisis de espectros de absorción y en la mejora de imágenes médicas, sin dañar las muestras, lo que la hace ideal para su uso en el ámbito de la salud.

Gracias a su capacidad de medir la oxigenación de tejidos humanos, se ha desarrollado la imagenología funcional, en la que el contraste está dado por el nivel de oxígeno absorbido, permitiendo así interpretar la función de los tejidos.

A pesar de los avances, la técnica se aplica principalmente a nivel de laboratorio, por lo que es necesario continuar con la investigación y el desarrollo de equipos portátiles más potentes. Esto abre oportunidades para nuevas generaciones interesadas en esta área. Como se ha mostrado, las técnicas fotoacústicas están más vigentes que nunca y permiten avanzar en el conocimiento de fenómenos esenciales para nuestra vida diaria.

Este trabajo no pretende ser una recopilación exhaustiva de los avances en el área; sabemos que muchas preguntas quedan sin responder. Sin embargo, cada interrogante es una invitación a sumarse a la búsqueda de respuestas.

Referencias

- [1] Rosencwaig, A. y A. Gersho, Theory of the photoacoustic effect with solids. *Journal of Applied Physics*, vol. 47, no. 1, p. 64, 1976, doi: <https://doi.org/10.1063/1.322296>.
- [2] Halliday, D., R. Resnick y J. Walker, *Física*. CEA, 2003.
- [3] Alonso, M. y E. Finn, *Física: Campos y ondas*. Pearson Educación, 1998.
- [4] Krishnaswamy, S., "Photoacoustic Characterization of Materials," en *Springer Handbook of Experimental Solid Mechanics*, W. N. Sharpe (Ed.). Springer US: Boston, MA, 2008, pp. 769–800.
- [5] Setiawan, A., F. Setiaji, D. Nugroho, et al., "Subsurface detection of opaque and solid material defect based on photoacoustic effect," *Journal of Instrumentation*, 2020, vol. 15, no. 04, P04010, doi: <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/04/P04010>.
- [6] Tserevelakis, G. J., A. Dal Fovo, K. Melessanaki, et al., "Photoacoustic signal attenuation analysis for the assessment of thin layers thickness in paintings," *Journal of Applied Physics*, 2018, vol. 123, no. 12, art. 123102, doi: <https://doi.org/10.1063/1.5022749>.
- [7] Rück, T., R. Bierl y F.-M. Matysik, "Low-cost photoacoustic NO₂ trace gas monitoring at the pptV-level," *Sensors and Actuators A: Physical*, 2017, vol. 263, pp. 501–509, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2017.06.036>.
- [8] Dong, M., C. Zheng, L. Dong, et al., "Development and measurements of a mid-infrared multi-gas sensor system for CO, CO₂ and CH₄ detection," *Sensors*, 2017, vol. 17, no. 10, p. 2221, doi: <https://doi.org/10.3390/s17102221>.

org/10.3390/s17102221.

- [9] Grzegorzczak, M., S. Pogorzelski y P. Rochowski, "Towards a novel class of photoacoustics-based water contamination sensors," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2022, vol. 10, no. 3, p. 107983, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107983>.
- [10] Bicanic, D. D., "On the photoacoustic, photothermal and colorimetric quantification of carotenoids and other phytonutrients in some foods: a review," *Journal of Molecular Structure*, 2011, vol. 993, no. 1–3, pp. 9–14, doi: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2010.12.061>.
- [11] Bedoya, A., F. Gordillo-Delgado, D. Zapata-Sarmiento, et al., "Thermal effusivity measurement of conventional and organic coffee oils via photopyroelectric technique," *Food Research International*, 2017, vol. 102, pp. 419–424, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.013>.
- [12] Gordillo-Delgado, F., E. Marín, D. M. Cortés-Hernández, et al., "Discrimination of organic coffee via Fourier transform infrared–photoacoustic spectroscopy," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, vol. 92, no. 11, pp. 2316–2319, doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.5628>.
- [13] N'Soukpoe-Kossi, C. N., R. Martel, S. Hotchandani y R. M. Leblanc, "Kinetic study of Maillard reactions in milk powder by photoacoustic spectroscopy," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1988, vol. 36, no. 3, pp. 497–501, doi: <https://doi.org/10.1021/jf000081a023>.
- [14] Hernández-Aguilar, C., E. S. Gil, O. Z. Pérez, et al., "Photoacoustic Spectroscopy in the Optical Characterization of Foodstuff: A Review," *Journal of Spectroscopy*, 2019, vol. 2019, p. 5920948, doi: <https://doi.org/10.1155/2019/5920948>.
- [15] Lara Hernández, G., C. Hernández Aguilar, I. de Jesús Perea Flores, et al., "Thermal properties of maize seed components," *Cogent Food & Agriculture*, 2023, vol. 9, no. 1, p. 2231681, doi: <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2231681>.
- [16] Lv, G., C. Du, Z. Zhu, et al., "Rapid and Nondestructive Detection of Pesticide Residues by Depth-Profiling Fourier Transform Infrared Photoacoustic Spectroscopy," *ACS Omega*, 2018, vol. 3, no. 3, pp. 3548–3553, doi: <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b00339>.
- [17] Baptista-Filho, M., H. G. Riter, M. G. Silva, F. J. Luna y C. G. Werneck, "Ammonia traces detection based on photoacoustic spectroscopy for evaluating ammonia volatilization from natural zeolites at typical crop field temperature," *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2011, vol. 158, no. 1, pp. 241–245, doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.06.012>.
- [18] Gordillo-Delgado, F., D. Zapata-Sarmiento y A. Bedoya, "Photoacoustic Technique Applied to the Assessment of the Dosage of a NPK Fertilizer in Maize (*Zea mays* L.)," *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2023, vol. 25, no. 1, pp. 225–238, doi: <https://doi.org/10.52547/jast.25.1.225>.
- [19] Omar, M., J. Aguirre y V. Ntziachristos, "Optoacoustic mesoscopy for biomedicine," *Nature Biomedical Engineering*, 2019, vol. 3, no. 5, pp. 354–370, doi: <https://doi.org/10.1038/s41551-019-0377-4>.
- [20] Xu, M. y L. V. Wang, "Photoacoustic imaging in biomedicine," *Review of Scientific Instruments*, 2006, vol. 77, no. 4, art. 041101, doi: <https://doi.org/10.1063/1.2195024>.
- [21] Lara Hernández, G. y J. J. A. Flores Cuautle, "Photothermal Techniques in Cancer Detection—Photoacoustic Imaging," en *Diagnosis and Treatment of Cancer using Thermal Therapies*, C. J. Trujillo Romero y D.-L. Flores (Eds.). CRC Press, 2023, pp. 184–199.
- [22] Ye, J., J. Xie, H. Zhao, et al., "Quantitative Photoacoustic Diagnosis and Precise Treatment of Inflammation In Vivo Using Activatable Theranostic Nanoprobe," *Advanced Functional Materials*, 2020, vol. 30, no. 38, p. 2001771, doi: <https://doi.org/10.1002/adfm.202001771>.
- [23] Farajollahi, A. y M. Baharvand, "Advancements in photoacoustic imaging for cancer diagnosis and treatment," *International Journal of Pharmaceutics*, 2024, vol. 665, p. 124736, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2024.124736>.
- [24] Zhang, P., L. Li, L. Lin, et al., "High-resolution deep functional imaging of the whole mouse brain by photoacoustic computed tomography in vivo," *Journal of Biophotonics*, 2018, vol. 11, no. 1, art. e201700024, doi: <https://doi.org/10.1002/jbio.201700024>.



Microplásticos: los aliados invisibles de las bacterias

Brandon Yahir Templos Marín

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
al211721@alumnos.uacj.mx



Resumen

Los microplásticos —pequeñas partículas de plástico como las de poliestireno que no se degradan fácilmente— no solo contaminan, también favorecen la resistencia de bacterias a los antibióticos. Estas partículas sirven de base para biofilms, capas que protegen y fortalecen a los microbios. El hallazgo preocupa porque la resistencia bacteriana es una amenaza creciente para la salud mundial y la presencia cada vez mayor de microplásticos en agua, suelo y aire podría acelerar este riesgo, sobre todo en regiones con sistemas de salud y saneamiento limitados.

Introducción

Alguna vez te has preguntado qué pasaría si las bacterias tuvieran superpoderes? La idea inquieta porque, de hacerse realidad, representaría un riesgo para nuestra salud. Un estudio reciente de la Universidad de Boston reveló que los microplásticos —pequeñas partículas de plástico con formas caprichosas o geométricas, invisibles a simple vista y que no se degradan ni con el tiempo ni con el agua— no solo contaminan el ambiente, sino que también pueden convertir bacterias comunes en súper resistentes a los antibióticos.

La resistencia antimicrobiana avanza como una amenaza global, con cada vez menos opciones de medicamentos eficaces. Este descubrimiento plantea una preocupación adicional para la salud pública

debido a la creciente presencia de microplásticos en nuestra vida diaria.

El papel de los microplásticos en la resistencia bacteriana

El estudio señala que, desde 1964, el consumo de plástico se ha multiplicado por 20 y que la basura plástica no controlada podría alcanzar hasta 265 megatoneladas anuales para 2060. Como consecuencia, las partículas sintéticas provenientes de materiales como polietileno, polipropileno y poliestireno han incrementado notablemente su aparición. En otras palabras, estos residuos juegan un papel preocupante en la propagación de bacterias resistentes a los antimicrobianos.

Un desafío para la salud y el medioambiente

En conjunto, los microplásticos no solo representan un problema ambiental, sino que también favorecen el desarrollo de bacterias más difíciles de tratar, aumentando el riesgo de infecciones resistentes. Este hallazgo subraya la necesidad de ampliar la vigilancia ambiental para monitorear tanto los niveles de antibióticos como la presencia de microplásticos, ya que ambos pueden potenciar la resistencia bacteriana.

Finalmente, los investigadores destacan la importancia de considerar las diferencias en el manejo de residuos entre países de ingresos bajos y altos, pues las condiciones inadecuadas pueden incrementar la generación de microplásticos y, con ello, la resistencia bacteriana.

Referencia

- [1] N. Gross et al., "Effects of microplastic concentration, composition, and size on *Escherichia coli* biofilm-associated antimicrobial resistance", *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 91, no. 4, pp. e02282-24, mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.1128/aem.02282-24>.



Nanozimas: la nueva generación de agentes antimicrobianos para combatir la resistencia bacteriana

Ing. Karen Guadalupe Quintero Garrido

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica CIDETEQ

Mtro. Alejandro López Amador

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica CIDETEQ

***Dra. Beatriz Liliana España Sánchez**

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica SC

lespana@cideteq.mx



Resumen

La resistencia a los antimicrobianos, considerada una de las mayores amenazas para la salud pública mundial, exige nuevas soluciones frente a la pérdida de eficacia de los antibióticos. En este contexto, la nanotecnología ofrece herramientas innovadoras, y entre ellas destacan las nanozimas, diminutos materiales capaces de imitar la función de las enzimas naturales, proteínas que facilitan reacciones vitales en el organismo. Estas partículas además de atacar a bacterias, hongos o virus mediante diferentes mecanismos, son más estables, económicas y fáciles de producir que las enzimas convencionales. El artículo presenta cómo actúan las nanozimas, los métodos empleados para fabricarlas —incluyendo la síntesis verde, que aprovecha extractos de plantas y microorganismos para reducir el impacto ambiental— y sus posibles aplicaciones en la medicina, desde combatir infecciones resistentes hasta contribuir en el diagnóstico de enfermedades y la protección de células. De esta manera, se perfila un futuro prometedor donde las nanozimas podrían convertirse en aliadas clave contra uno de los problemas de salud más urgentes de nuestro tiempo.

Introducción

La resistencia a los antimicrobianos (RAM) representa hoy en día una de las amenazas más urgentes para la salud pública mundial. Este fenómeno ocurre cuando los microorganismos se adaptan a los antibióticos convencionales, por lo que eliminarlos del cuerpo humano se vuelve cada vez más difícil, lo que prolonga la permanencia de enfermedades infecciosas. De acuerdo con lo reportado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la RAM causa actualmente más de 1.2 millones de muertes al año, y de no tomar medidas efectivas, podría provocar hasta 10 millones de fallecimientos anuales hacia el 2050, superando incluso a enfermedades como el cáncer (Figura 1). Además de poner en riesgo la vida, la RAM incrementa la duración de las enfermedades y eleva de manera considerable los costos de su tratamiento.

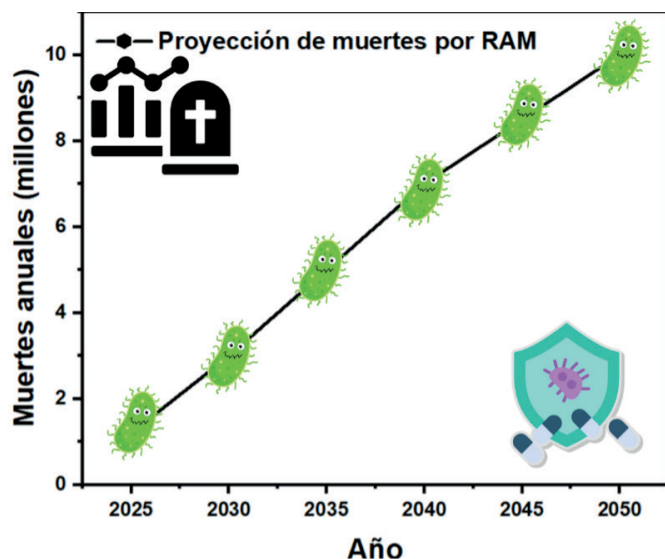


Figura 1. Prevalencia de muertes asociada con la resistencia a los antimicrobianos, con proyecciones de 2025 a 2050 (Fuente: elaboración propia).

Frente a este escenario alarmante, los científicos buscan constantemente desarrollar nuevas estrategias contra microorganismos peligrosos para la salud. Una de las alternativas más prometedoras en la lucha contra las enfermedades infecciosas es el uso de nanomateriales, los cuales se definen como materiales de tamaño muy reducido (menos de 100 nanómetros,

es decir, la mil millonésima parte de un metro), comparables al tamaño de un virus o incluso de algunos átomos.

Una de sus principales características es su capacidad de frenar el crecimiento de microorganismos tales como bacterias, hongos, e incluso inactivar virus, por lo cual han sido recientemente considerados como la nueva generación de agentes antimicrobianos [1].

Estos materiales pueden atacar a los patógenos de diversas formas: desde generar sustancias reactivas que dañan sus estructuras internas, hasta desestabilizar sus membranas o alterar procesos esenciales para su supervivencia, de acuerdo con lo ilustrado en la Figura 2.

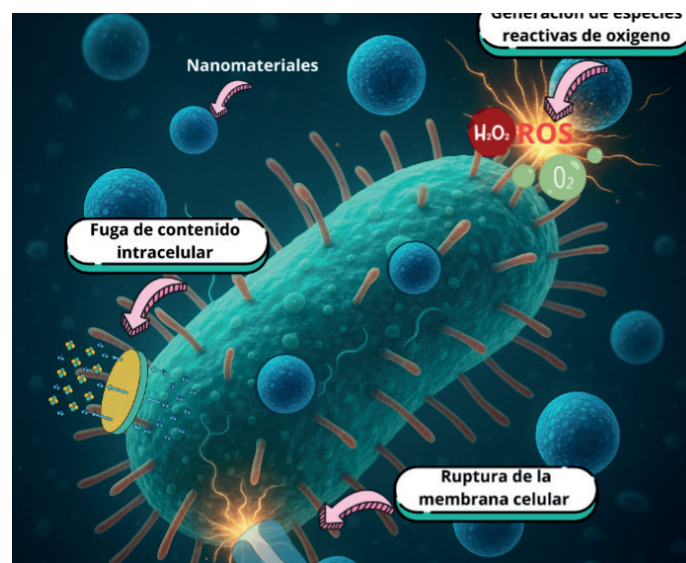


Figura 2. Efecto del uso de nanomateriales antimicrobianos en contacto con bacterias (Fuente: elaboración propia).

Nanomateriales: una alternativa innovadora contra los patógenos

Uno de los nanomateriales antimicrobianos que ha demostrado alta eficacia en contacto con patógenos son los denominados nanozimas. Por definición, las nanozimas son materiales a nanoescala que imitan la función de las enzimas naturales, esas proteínas esenciales que permiten que nuestro cuerpo realice actividades vitales como respirar, digerir alimentos o reparar células.

Lo fascinante de las nanozimas es que, al imitar estas funciones, pueden actuar de manera controlada y precisa, pero con ventajas adicionales: son más estables, más duraderas y mucho más fáciles de producir que las enzimas naturales. Además, su producción resulta más económica que la de enzimas comerciales. Gracias a estas características, las nanozimas se están posicionando como herramientas poderosas en la lucha contra las infecciones [2].

A diferencia de otros tratamientos convencionales, las nanozimas pueden eliminar bacterias sin fomentar la aparición de resistencia. Esto se debe a que su mecanismo de acción no depende de un solo punto de ataque, como sucede con muchos antibióticos, sino que generan compuestos reactivos que destruyen múltiples estructuras esenciales de los microorganismos, dificultando su adaptación.

Además, las nanozimas tienen la capacidad de imitar varias enzimas importantes. Por ejemplo, algunas actúan como peroxidases, ayudando a destruir bacterias al generar sustancias tóxicas para ellas; otras funcionan como catalasas, protegiendo a las células humanas al descomponer compuestos dañinos como el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno. También existen nanozimas que imitan a las oxidasas o a la superóxido dismutasa, las cuales contribuyen a eliminar contaminantes o neutralizar radicales libres que causan daño celular. Esta versatilidad convierte a las nanozimas en herramientas multifuncionales, útiles no solo para combatir infecciones, sino también para proteger tejidos y mejorar la salud en general.

Aplicaciones y métodos de síntesis

Otra gran ventaja de las nanozimas es su biocompatibilidad. Al imitar funciones naturales, pueden actuar dentro del cuerpo humano sin causar daños, lo que las hace seguras para su uso en tratamientos médicos.

Otra gran ventaja de las nanozimas es su biocompatibilidad. Al imitar funciones naturales, pueden actuar dentro del cuerpo humano sin causar daños, lo que las hace seguras para su uso en tratamientos médicos e hecho, ya se están explorando aplicaciones más allá del control bacteriano:

algunas investigaciones muestran que ciertas nanozimas pueden destruir células cancerosas sin dañar tejidos sanos, o incluso proteger a las neuronas en enfermedades como el Alzheimer y el Parkinson (Figura 3).

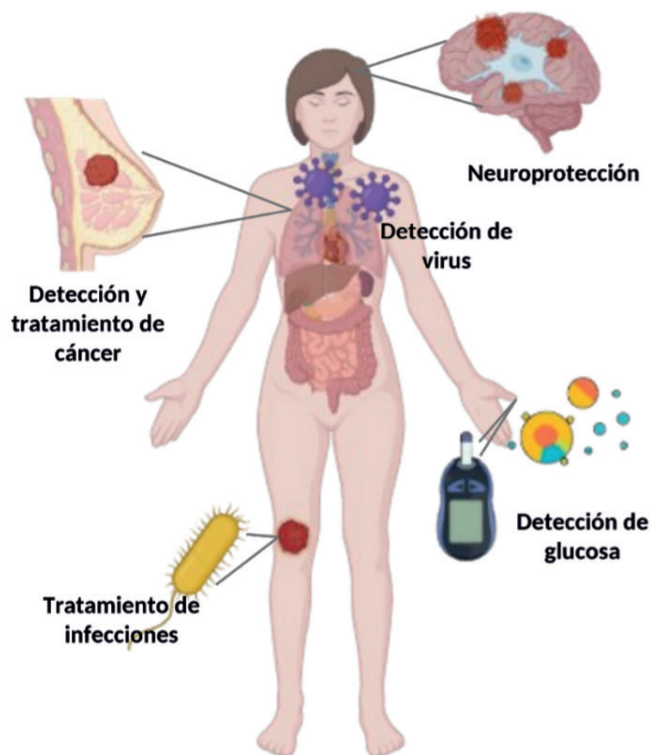


Figura 3. Principales aplicaciones biomédicas de las nanozimas (Fuente: elaboración propia).

También se están desarrollando sensores basados en nanozimas, que cambian de color al detectar bacterias, virus o niveles elevados de glucosa, lo que permitiría diagnósticos más rápidos y accesibles.

Para obtener estas nanozimas, se utilizan diferentes métodos de síntesis en el laboratorio. Técnicas como el método sol-gel, el hidrotermal o el solvotermal permiten controlar su tamaño, forma y propiedades, adaptándolas a la aplicación deseada. Aunque estos nombres suenan complicados, en esencia consisten en combinar distintos componentes bajo condiciones específicas de temperatura, presión o acidez para formar nanozimas con las características necesarias.

Sin embargo, en busca de un enfoque más ecológico y seguro, ha surgido la síntesis verde [3,4]. Este método utiliza extractos de plantas, microorganismos o materiales naturales como fuente para fabricar nanozimas, evitando sustancias tóxicas y reduciendo el impacto ambiental. Por ejemplo, algunas frutas o hojas contienen compuestos que, de manera natural, transforman sales metálicas en nanopartículas. Además de ser más amigable con el medio ambiente, la síntesis verde puede mejorar la compatibilidad de las nanozimas con el cuerpo humano, haciéndolas aún más seguras para aplicaciones médicas (Figura 4).

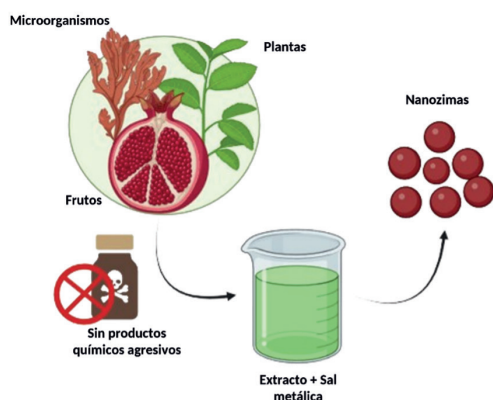


Figura 4. Esquema representativo de las diferentes fuentes naturales implicadas en la síntesis verde de nanozimas (Fuente: elaboración propia).

Conclusiones

Tomando en cuenta lo anterior, el Laboratorio de Nanomateriales Antimicrobianos del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ) está apostando por el desarrollo sustentable de materiales innovadores que sean capaces de evitar la propagación de enfermedades infecciosas. En particular, el objetivo es diseñar nuevas nanozimas antimicrobianas que contribuyan a enfrentar los retos de la resistencia microbiana de manera eficaz, segura y sostenible. Así, las nanozimas no solo representan un avance científico prometedor, sino también una esperanza tangible en la lucha contra uno de los problemas de salud más graves de nuestro tiempo: la resistencia a los antimicrobianos.

Referencias

- [1] F. Padilla-Vaca, C. L. Mendoza-Macías, B. Franco, F. Anaya-Velázquez, P. Ponce-Noyola, A. Flores-Martínez, "El mundo micro en el mundo nano: importancia y desarrollo de nanomateriales para el combate de las enfermedades causadas por bacterias, protozoarios y hongos," *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, vol. 11, pp. 15–27, 2018. doi: <https://doi.org/10.22201/CEIICH.24485691E.2018.21.62591>.
- [2] L. Mei, S. Zhu, Y. Liu, W. Yin, Z. Gu, Y. Zhao, "An overview of the use of nanozymes in antibacterial applications," *Chemical Engineering Journal*, vol. 418, p. 129431, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2021.129431>.
- [3] M. del C. Torres-Pedroza, A. F. Martínez-Ávila, K. Juárez-Moreno, M. Estevez, L. Álvarez-Contreras, M. E. Cruz-Soto, L. Granados-López, N. Arjona, B. L. España-Sánchez, "Multifunctional biological performance of electrospun PCL scaffolds formulated with silver sulfide nanoparticles," *Polymers (Basel)*, vol. 17, p. 230, 2025. doi: <https://doi.org/10.3390/POLYM17020230/S1>.
- [4] A. López-Amador, B. I. Jiménez-Muñoz, A. Gutierrez-Ortega, D. E. Elizondo-Quiroga, G. Luna-Bárcenas, L. G. Silva Vidaurri, M. Estevez, B. L. España-Sánchez, "Surface engineering of carbon dots synthesized from green sources with antiviral properties," *Materials Letters*, vol. 366, p. 136569, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/J.MAT-LET.2024.136569>.

Cáncer de endometrio, un desafío poco conocido y el papel de la inteligencia artificial en su detección temprana

*Ing. Haydeé Lira Casas

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

hlirac97@gmail.com



Resumen

El cáncer de endometrio es uno de los tumores ginecológicos más comunes en mujeres mexicanas, pero sigue siendo poco estudiado y con escasa presencia en campañas de prevención. Detectarlo a tiempo es vital, ya que aumenta las posibilidades de aplicar tratamientos menos agresivos y más efectivos. Los métodos tradicionales, como la biopsia o la histeroscopia (observación del útero con una cámara), dependen en gran parte de la interpretación del especialista, lo que puede generar errores. Frente a este reto, la investigación propone el uso de inteligencia artificial, una tecnología que permite a las computadoras analizar imágenes digitales del tejido endometrial y distinguir automáticamente entre zonas sanas y cancerosas. Además, se examinan la textura (la organización de las células) y el color del tejido para identificar patrones que indican el grado de avance del tumor. Esta innovación promete diagnósticos más precisos, reducción de la subjetividad y tratamientos mejor personalizados, lo que representa un avance importante en la atención médica y una esperanza para miles de mujeres.

Introducción

¿Podrán las nuevas tecnologías ayudarnos a detectar y tratar a tiempo el cáncer de endometrio, una enfermedad que afecta a mujeres pero que aún es poco conocida?

El cáncer de endometrio ocurre cuando las células que recubren el interior del útero, conocido como endometrio, comienzan a crecer sin control. Este crecimiento anormal puede formar

tumores y extenderse a otras partes del cuerpo si no se detecta y trata a tiempo [1]. El endometrio es la capa que reviste el interior del útero y que, bajo la influencia de ciertas hormonas, crece cada mes para prepararse para un posible embarazo. Si no ocurre un embarazo, esta capa endometrial se desprende durante la menstruación [2].

Cuando las células del endometrio comienzan a multiplicarse de forma descontrolada, forman masas llamadas tumores que pueden extenderse hacia otros órganos, complicando seriamente la salud de la paciente [3].

A nivel mundial, el cáncer de endometrio es el quinto cáncer más frecuente entre las mujeres, con más de 320,000 casos nuevos cada año [4]. Aunque generalmente afecta a mujeres después de la menopausia (principalmente alrededor de los 60 años) [5], existen varios factores que aumentan el riesgo de desarrollar esta enfermedad. Entre estos factores se incluyen el sobrepeso, la exposición prolongada a hormonas como los estrógenos, algunas condiciones hereditarias como el síndrome de Lynch (un trastorno genético hereditario que aumenta el riesgo de ciertos tipos de cáncer) y enfermedades como el síndrome de ovario poliquístico (un trastorno hormonal que afecta a los ovarios) [6].

En América Latina, este tipo de cáncer es el tercero más frecuente entre los cánceres ginecológicos, representando un 3.5% de los casos diagnosticados anualmente y con una mortalidad aproximada del 2% [7]. En México, aunque ocupa el quinto lugar en incidencia de cánceres ginecológicos, continúa siendo uno de los más frecuentes entre las mujeres [8]. Un dato alentador es que aproximadamente el 75% de los casos se detectan en etapas iniciales, lo que aumenta significativamente las posibilidades de recibir tratamientos efectivos y lograr una recuperación favorable [9]. Sin embargo, a pesar de estas cifras, el cáncer de endometrio es menos estudiado que otros tipos de cáncer femenino (como el cáncer de mama o el cáncer de cuello uterino). Esta falta de investigación puede deberse en parte a la escasa difusión y concientización pública, así como a la prioridad de financiamiento hacia otros cánceres más conocidos y a campañas preventivas más extendidas. Esta situación resalta la necesidad de promover un mayor conocimiento y fomentar avances tecnológicos en la prevención y el tratamiento del cáncer de endometrio [10].

La importancia de la detección temprana y clasificación por grados

La tecnología médica está experimentando importantes avances, especialmente en el uso de la inteligencia artificial (IA). Nuestra investigación utiliza imágenes digitales del tejido endometrial obtenidas con un microscopio, las cuales luego son analizadas automáticamente por computadoras entrenadas mediante aprendizaje automático (un tipo

La tecnología médica está experimentando importantes avances, especialmente en el uso de la inteligencia artificial (IA). Nuestra investigación utiliza imágenes digitales del tejido endometrial obtenidas con un microscopio, las cuales luego son analizadas automáticamente por computadoras entrenadas mediante aprendizaje automático (un tipo de algoritmo de IA que aprende a reconocer patrones a partir de datos). Este método permite identificar con claridad qué áreas contienen tejido sano y cuáles contienen células cancerosas.

Una vez identificadas las áreas con cáncer, se realiza un análisis especializado de esas regiones, que incluye examinar la textura y el color del tejido con gran detalle en imágenes ampliadas (es decir, con mayor aumento). El análisis de la textura ayuda a detectar patrones específicos que indican la presencia de células anormales y sirve para evaluar qué tan avanzado está el cáncer. Por otro lado, el análisis de color identifica cambios sutiles en la tonalidad del tejido, lo cual puede revelar información adicional sobre el grado del tumor [14]. Esta combinación de técnicas proporciona una precisión diagnóstica mucho mayor que los métodos tradicionales, reduciendo considerablemente la subjetividad y mejorando la capacidad de los médicos para decidir el tratamiento más efectivo.

La Figura 1 ilustra de forma visual cómo se lleva a cabo el análisis del cáncer de endometrio con ayuda de esta tecnología. Primero se parte de una imagen original del tejido endometrial. Luego, mediante herramientas digitales, se identifican las zonas sanas (marcadas en verde) y las zonas con cáncer (en azul), diferenciándolas también del fondo o de las partes del tejido que aparecen claras (marcadas en rojo). Una vez localizada la zona con cáncer, esta se amplía para verla con mayor detalle, tanto en blanco y negro

como a color. A partir de estas vistas aumentadas, se extrae información sobre la textura (es decir, cómo se organizan las células) y sobre el color del tejido, lo cual ayuda a clasificar el grado del cáncer. Todo este proceso contribuye a lograr un diagnóstico más preciso y a elegir el tratamiento más adecuado para cada paciente.

No todos los cánceres de endometrio son iguales. Existen diferentes subtipos que varían en su comportamiento, agresividad y respuesta a los tratamientos. Gracias a los avances en genética y biología molecular, ahora es posible clasificar el cáncer de endometrio en subtipos específicos. Por ejemplo, se han definido los subtipos POLE (tumores ultramutados por alteraciones en el

gen e la polimerasa épsilon) (caracterizados por inestabilidad de microsatélites, es decir, una gran cantidad de errores genéticos acumulados), CN-LOW (con baja inestabilidad genómica, es decir, pocos cambios genéticos) y CN-HIGH (con alta inestabilidad genómica, es decir, muchos cambios genéticos). Cada subtipo presenta diferencias importantes en cómo progresa la enfermedad, cómo responde a determinados medicamentos y en el pronóstico general para la paciente. Algunos subtipos responden mejor a terapias hormonales, mientras que otros se benefician más de la quimioterapia o de la inmunoterapia. Contar con una clasificación precisa permite a los médicos personalizar los tratamientos, aumentando la eficacia y reduciendo efectos secundarios innecesarios [7].

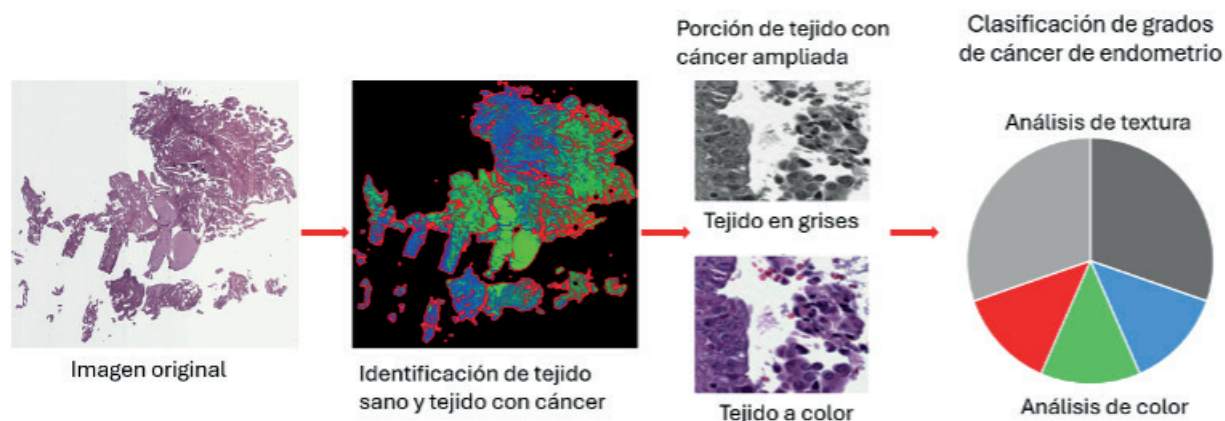


Figura 1. Proceso de análisis digital del cáncer de endometrio, donde se estudian solo las zonas afectadas para lograr diagnósticos más precisos.

A pesar de estos avances significativos, el cáncer de endometrio continúa siendo relativamente poco conocido y menos investigado en comparación con otros cánceres ginecológicos. Es fundamental ampliar la investigación no solo en mejores herramientas de diagnóstico, sino también en programas de educación y concientización pública. Se requieren políticas públicas específicas y un mayor financiamiento enfocado en esta enfermedad para lograr avances en prevención y diagnóstico temprano.

Conclusión

La aplicación de la inteligencia artificial en el diagnóstico y clasificación del cáncer de endometrio promete mejorar significativamente la atención médica. Estas tecnologías permiten obtener diagnósticos más precisos y tratamientos adaptados a cada paciente y, en consecuencia, lograr mejores resultados de salud y calidad de vida. Aumentar el conocimiento e investigación sobre este cáncer poco conocido es esencial para seguir avanzando en su tratamiento y prevención, brindando una esperanza

real a las mujeres afectadas. ¿Será posible, en un futuro cercano, que estas herramientas tecnológicas se conviertan en una parte esencial del diagnóstico médico?

Referencias

- [1] American College of Obstetricians and Gynecologists, "Cáncer de endometrio," Accessed: May 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.acog.org/womens-health/faqs/cancer-de-endometrio>
- [2] Clínica Universidad de Navarra, "Qué es el endometrio," 2025. Accessed: May 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.cun.es/escuela-salud/que-es-endometrio>
- [3] P. Morice, A. Leary, C. Creutzberg, N. Abu-Rustum, and E. Darái, "Endometrial cancer," *The Lancet*, vol. 387, no. 10023, pp. 1094–1108, Mar. 2016, doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00130-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00130-0).
- [4] J. Ferlay et al., "Cancer incidence and mortality worldwide: Sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012," *Int. J. Cancer*, vol. 136, no. 5, pp. E359–E386, Mar. 2015, doi: <https://doi.org/10.1002/ijc.29210>.
- [1] American College of Obstetricians and Gynecologists, "Cáncer de endometrio," Accessed: May 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.acog.org/womens-health/faqs/cancer-de-endometrio>
- [2] Clínica Universidad de Navarra, "Qué es el endometrio," 2025. Accessed: May 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.cun.es/escuela-salud/que-es-endometrio>
- [3] P. Morice, A. Leary, C. Creutzberg, N. Abu-Rustum, and E. Darái, "Endometrial cancer," *The Lancet*, vol. 387, no. 10023, pp. 1094–1108, Mar. 2016, doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00130-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00130-0).
- [4] J. Ferlay et al., "Cancer incidence and mortality worldwide: Sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012," *Int. J. Cancer*, vol. 136, no. 5, pp. E359–E386, Mar. 2015, doi: <https://doi.org/10.1002/ijc.29210>.
- [5] American Cancer Society, "Key Statistics for Endometrial Cancer." Accessed: May 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.cancer.org/cancer/types/endometrial-cancer/about/key-statistics.html>
- [6] American Cancer Society, "Endometrial Cancer Risk Factors." Accessed: May 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.cancer.org/cancer/types/endometrial-cancer/causes-risks-prevention/risk-factors.html>
- [7] C. Montiel, "Nueva clasificación molecular del carcinoma de endometrio," *MedUNAB*, vol. 24, no. 3, pp. 365–374, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.29375/01237047.4015>.
- [8] A. Bahena-González et al., "Oncoguía de cáncer de endometrio 2023," *Latin American Journal of Clinical Sciences and Medical Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 194–205, Nov. 2023, doi: <https://doi.org/10.34141/LJCS5711966>.
- [9] M. Romero-Matas et al., "Endometrial cancer: surgical treatment in a community hospital in Spain," *Ginecol. Obstet. Mex.*, vol. 90, no. 4, pp. 307–315, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.24245/gom.v90i4.5531>.
- [10] El País, "Endometrio, un cáncer cada vez más común del que apenas se habla." Accessed: May 04, 2025. [Online]. Available: <https://elpais.com/sociedad/transformar-hoy-el-manana/2024-09-17/endometrio-un-cancer-cada-vez-mas-comun-del-que- apenas-se-habla.html>
- [11] K. López Miguel, D. Rosa Pérez Mederos, L. Selis Pomar Durruthy, and R. Ropero Toirac, "XVIII Congreso de la Sociedad Cubana de Ginecología y Obstetricia – Cáncer de endometrio localmente avanzado y/o metastásico. Experiencia de un centro." Accessed: May 04, 2025. [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0001-9613-983X>



¡Descubre, aprende y conecta!

Sigue nuestras redes y explora temas de ciencias aplicadas, salud mental, y mucho más.

¡Únete a nuestra comunidad científica!



Ciencia Vital



@ciencia_vital



@ciencia_vital



Ciencia Vital