

CIENCIA VITAL

Revista de Divulgación Científica de la UACJ

ISSN: 3061-7944

**Obesidad infantil: una
pandemia silenciosa en México**

**Electroquímica al servicio de la
salud: sensores que detectan
albúmina en la lucha contra la
enfermedad renal crónica**

**Nanomateriales: pequeños
materiales que generan grandes
avances hacia la detección
oportuna de la insuficiencia
renal**

**De tradición y nanofibras:
cómo el arte textil mexicano
inspira la ciencia del
electrohilado para el desarrollo
de textiles antimicrobianos**

**¿Son los autos eléctricos
una medida para alcanzar un
transporte sostenible en las
ciudades?**

**¿Litio o Zinc? La batalla por el
futuro de las baterías para el
transporte eléctrico**

Virus: ¿héroes o villanos?

**La calidad: pasado, presente y
futuro**

**VOL 3. NO.4
OCTUBRE-DICIEMBRE 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 4, octubre-diciembre 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: 31 de diciembre 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 Espinola
Director Creativo

Mtro. Leonardo Arroyo Ortega
Administrador Web

América Itzayanne Ledesma Soriano
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
T i k T o k

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

Obesidad infantil: una pandemia silenciosa en México-
[e0304CIE01](#)

Electroquímica al servicio de la salud: sensores que detectan
albúmina en la lucha contra la enfermedad renal crónica-
[e0304APL01](#)

Nanomateriales: pequeños materiales que generan grandes
avances hacia la detección oportuna de la insuficiencia renal-
[e0303APL02](#)

De tradición y nanofibras: cómo el arte textil mexicano inspira la
ciencia del electrohilado para el desarrollo de textiles
antimicrobianos- [e0304APL03](#)

¿Son los autos eléctricos una medida para alcanzar un transporte
sostenible en las ciudades?- [e0304APL04](#)

¿Litio o Zinc? La batalla por el futuro de las baterías para el
transporte eléctrico- [e0304BAS01](#)

Virus: ¿héroes o villanos?-[e0304SAL01](#)

La calidad: pasado, presente y futuro-[e0304SOC01](#)

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.

Obesidad infantil: una pandemia silenciosa en México

Dr. Ranulfo Pérez Garcés

Universidad Autónoma del Estado de México

ranulfopg.uaem@gmail.com



Resumen

Este artículo analiza los retos que enfrenta la estrategia Vive saludable en las escuelas de educación básica del Estado de México, una iniciativa que busca reducir el consumo de comida chatarra y promover hábitos alimentarios más sanos entre niñas y niños. En un contexto donde la obesidad infantil —una enfermedad que afecta el crecimiento, la salud metabólica y el bienestar emocional— alcanza niveles alarmantes en el país, el texto invita a reflexionar sobre la importancia de actuar de manera conjunta para frenar esta pandemia silenciosa. A través de ejemplos cotidianos y observaciones directas, se muestra cómo las resistencias sociales, la falta de vigilancia y el poder de la mercadotecnia dificultan el cumplimiento de la ley, y se destaca la urgencia de fortalecer la responsabilidad individual, familiar y comunitaria. El artículo propone mirar la alimentación saludable no solo como un deber institucional, sino como un compromiso ético compartido que puede mejorar la calidad de vida de la niñez mexicana y abrir oportunidades para un futuro más sano.

Introducción

Con mucha preocupación hoy quiero hablarles del principal problema de salud que enfrentamos en México, uno que urge no solo conocer, sino también resolver. Existe una pandemia silenciosa que está dañando lentamente a la niñez mexicana: la obesidad infantil. Este texto es una invitación a reflexionar sobre la importancia de

no caer en simulaciones ni autoengaños al aplicar la nueva ley que prohíbe la venta de comida chatarra en las escuelas.

La intención es que, como sociedad, seamos críticos y autocríticos para poder proponer soluciones reales a este gran problema.

¿Y qué opina la ciencia?

Pérez Garcés.

Obesidad infantil: una pandemia silenciosa en México.

Ciencia Vital, Vol. 3. No. 4 octubre-diciembre 2025.

Niñas y niños obesos no son niños felices

Las abuelas y madres suelen decir: “si está gordito es porque está bien alimentado”, pero esto no es cierto. En México, 1 de cada 3 niñas y niños tiene sobrepeso u obesidad, y en los últimos cinco años las niñas han sido las más afectadas. En las noticias se habla de una “bomba de tiempo” que explotará tarde o temprano; yo me atrevería a decir que ya explotó, pues nuestro país ocupa el primer lugar mundial en obesidad infantil. Este hecho debería avergonzarnos, porque refleja la falta de voluntad de padres, madres, maestras, maestros y gobiernos que han observado el crecimiento del problema durante años sin actuar de forma contundente.

Por primera vez, el 17 de abril del año pasado se prohibió la venta de comida chatarra en las escuelas del país, cuando México aprobó la Ley General para una Alimentación Adecuada y Sostenible. Esta ley reconoce que todos los niños y niñas tienen derecho a una alimentación nutritiva que garantice su desarrollo integral. Para cumplirla, se implementó la estrategia “Vive saludable” desde marzo de este año. Ahora está prohibida la venta de comida chatarra, dulces, jugos, refrescos, pan y galletas en las cooperativas escolares, así como incluir estos productos en los desayunos enviados desde casa.

Sin embargo, a meses de su entrada en vigor, en algunas escuelas primarias del Estado de México aún se observa falta de conciencia entre docentes y directivos, quienes permiten la comercialización de comida chatarra. También hay padres y madres que se niegan a enviar alimentos saludables “porque no tienen tiempo” de prepararlos o comprarlos.

La obesidad no es solo “ver a niñas y niños gorditos”. Es una enfermedad que causa problemas graves como diabetes, hipertensión, colesterol alto, mal desarrollo de los huesos, dificultades respiratorias, fatiga, enfermedades del corazón

y, además, el bullying, frecuente tanto en la escuela como en la comunidad. Si menciono estas consecuencias no es para alarmar, sino para invitar a actuar. Algunos estudios indican que cada día mueren en México 652 personas por enfermedades asociadas al sobrepeso y la obesidad. No debemos permitir que nuestros hijos e hijas formen parte de estas cifras.

Muchos docentes expresan preocupación por la falta de compromiso de las familias; sin embargo, la situación exige pasar de la preocupación a la acción. Este es un problema que solo puede resolverse de manera coordinada.

Como sociedad necesitamos pensar estratégicamente, actuar éticamente y ser reflexivos. Un signo de locura es esperar resultados distintos haciendo siempre lo mismo. No nos engañemos ni finjamos: no esperemos a que alguien nos obligue a hacer lo que sabemos que debemos hacer para cuidar nuestra salud.

Tras lo que parecía una gran estrategia, la situación en algunas escuelas ha empezado a relajarse. Mientras se vigila en las aulas que los alumnos no consuman alimentos poco saludables, en las cooperativas se permite la venta de yogur comercial, leches y jugos saborizados con sellos de advertencia (etiquetas que alertan sobre exceso de azúcar, calorías, grasas o sodio), así como botanas con colorantes y azúcares añadidos. Es fácil adquirir un yogur congelado sin envase o botanas disfrazadas como frutas con exceso de chile en polvo, o palomitas cubiertas de caramelo hecho en casa. Aunque los directivos deberían evitarlo, guardan silencio porque los vendedores reportan menos ingresos.

Fuera de las escuelas, la situación tampoco ha mejorado. Como padre de familia he observado un incremento en la oferta y el consumo de comida chatarra. Es habitual ver puestos llenos de niños,

¿Y qué opina la ciencia?

Pérez Garcés.

Obesidad infantil: una pandemia silenciosa en México.

Ciencia Vital, Vol. 3. No. 4 octubre-diciembre 2025.

niñas y familias comprando botanas, gomitas, pizzas, helados y bebidas azucaradas. Algunos comerciantes aseguran que la prohibición ha aumentado la venta afuera de las escuelas, pues los niños guardan su dinero para comprar a la salida.

El consumo de comida chatarra entre niñas y niños mexicanos es un problema enorme que, en mi opinión, sí tiene solución. No basta una ley ni basta una institución escolar que informe, instruya y sancione. Es urgente reforzar una ética reflexiva que impulse la responsabilidad personal, familiar y social, para construir un compromiso colectivo que nos permita enfrentar juntos a un enemigo poderoso y omnipresente: la mercadotecnia, que seduce, motiva e impulsa el consumo desmedido de alimentos que no nutren y sí dañan.

Reflexiones finales

Hoy estamos frente a una gran oportunidad para cuidar a nuestra niñez. Por ello convoco a alumnos, maestras, maestros y familias a crear una cultura de la salud y la felicidad, dejando de ser cómplices y evitando simular que cumplimos la ley. Debemos prohibir, sin excusas, la comida no saludable y erradicar frases como: “te voy a dejar comer eso que trajiste, pero esconde la basura en tu mochila”.

La gran contradicción es que vivimos en un país con una rica tradición gastronómica. Somos productores de alimentos nutritivos y de bajo costo, pero aun así estamos mal nutridos. Es urgente redoblar esfuerzos y diseñar estrategias conjuntas para que los padres de familia aprendan a cocinar alimentos saludables, y para que las niñas y niños conozcan los muchos vegetales, frutas, insectos y plantas que quizá nunca han probado, pero que son altamente nutritivos, como chapulines, nopales, quelites, capulines, habas, espárragos y hongos, entre muchos otros.

También es urgente que en las escuelas de educación básica la clase de educación física sea obligatoria y se imparta sin interrupciones. En el Estado de México, por ejemplo, muchas horas se han perdido debido a que los docentes de educación física dependen de un departamento administrativo distinto y los directivos no pueden supervisar su asistencia. Esto ha generado ausencias frecuentes por comisiones, reuniones o entrenamientos para concursos, dejando a cientos de niñas y niños semanas o incluso meses sin actividad física regular. Además, muchas escuelas carecen de plazas suficientes de docentes de educación física.

Albert Einstein dijo: “Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad”. Desde nuestro rol —como padres, madres, docentes, directivos, gobiernos y comerciantes— debemos unirnos para enfrentar al monstruo que amenaza nuestra salud y nuestras vidas. Unamos esfuerzos y asumamos nuestra responsabilidad para que nadie nos arrebatte el presente ni el futuro.

Referencias

- [1] T. Shamah-Levy, “Prevalencias de sobrepeso y obesidad en población escolar y adolescente de México. Ensanut Continua 2020-2022,” *Salud Pública Mex*, vol. 65, pp. s218–s224, jun. 2023. México. Disponible en: <https://www.saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/14762>
- [2] Ley General para una Alimentación Adecuada y Sostenible. Diario Oficial de la Federación, México. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAAS.pdf>
- [3] Secretaría de Salud, “Obesidad infantil: nuestra nueva pandemia,” *Blog Hablemos de Salud*, marzo 2023. Disponible en: <https://www.gob.mx/promosalud/articulos/obesidad-infantil-nuestra-nueva-pandemia?idiom=es>
- [4] El Poder del Consumidor, “Día Mundial Contra la Obesidad. Urge que el actual gobierno adopte medidas pendientes para prevenir la obesidad antes de que concluya su periodo,” 2024, México. Disponible en: <https://elpoderdelconsumidor.org/2024/03/dia-mundial-de-la-obesidad-urge-que-el-actual-gobierno-adopte-medidas-pendientes-para-prevenir-la-obesidad-antes-de-que-concluya-su-periodo/>



Electroquímica al servicio de la salud: sensores que detectan albúmina en la lucha contra la enfermedad renal crónica

Mtro. Johan S. Barreneche Vasquez

Dr. Noé Arjona*

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica
wvelazquez@cideteq.mx

Resumen

Las enfermedades renales aumentan a nivel mundial y muchas avanzan sin síntomas, por lo que detectarlas a tiempo es clave para evitar daños graves. Una forma de hacerlo es medir la albúmina, una proteína cuya presencia en la orina indica problemas en los riñones. No obstante, los métodos actuales suelen ser costosos, lentos y requieren laboratorios especializados. Este artículo presenta una alternativa prometedora: los sensores electroquímicos, dispositivos capaces de transformar reacciones químicas en señales eléctricas para identificar sustancias específicas. El uso de nanomateriales —estructuras muy pequeñas con alta capacidad de detección—, polímeros de impresión molecular —materiales diseñados para reconocer una molécula particular— y biorreceptores —componentes biológicos que actúan como “llaves” de reconocimiento— está permitiendo desarrollar sensores más precisos, portátiles y accesibles. Estas tecnologías podrían transformar el seguimiento de la salud renal, facilitando diagnósticos rápidos, económicos y cercanos al paciente, lo que representa una oportunidad para mejorar la calidad de vida y fortalecer la prevención de enfermedades renales.

Introducción

En el contexto actual de la medicina personalizada y los diagnósticos rápidos, la detección de biomarcadores se ha consolidado como una herramienta fundamental para monitorear el estado de salud de los pacientes. Entre estos biomarcadores,

la albúmina es una proteína abundante en la sangre que destaca por su relevancia clínica al proporcionar información valiosa sobre la progresión de enfermedades hepáticas y, especialmente, renales.

Una de las afecciones más críticas asociadas a los niveles alterados de albúmina es la enfermedad renal crónica (ERC), la cual representa la segunda causa de muerte en Centroamérica y se ubica entre las principales a nivel mundial. En particular, México registra la mayor cantidad de años de vida ajustados por discapacidad debido a esta patología (Figura 1a) [1], [2]. En este contexto, el monitoreo confiable, rápido y accesible de los niveles de albúmina se perfila como una estrategia clave para la detección oportuna y el manejo eficaz de la ERC.

¿Qué es un biomarcador y por qué la albúmina sirve como uno en el control de la ERC?

Los biomarcadores clínicos son moléculas o sustancias medibles que se encuentran en el cuerpo y sirven como indicadores del funcionamiento normal o alterado de un organismo. En este sentido, la albúmina tiene un gran valor clínico: representa más del 50% de la proteína total del plasma sanguíneo y juega un papel crucial en la regulación de procesos fisiológicos esenciales [3]. Además, es una proteína metabolizada y reutilizada una vez que completa su ciclo útil, por lo que su excreción por medio de la orina tiende a ser baja y relativamente constante bajo condiciones normales, como se muestra en el escenario superior de la Figura 1b.

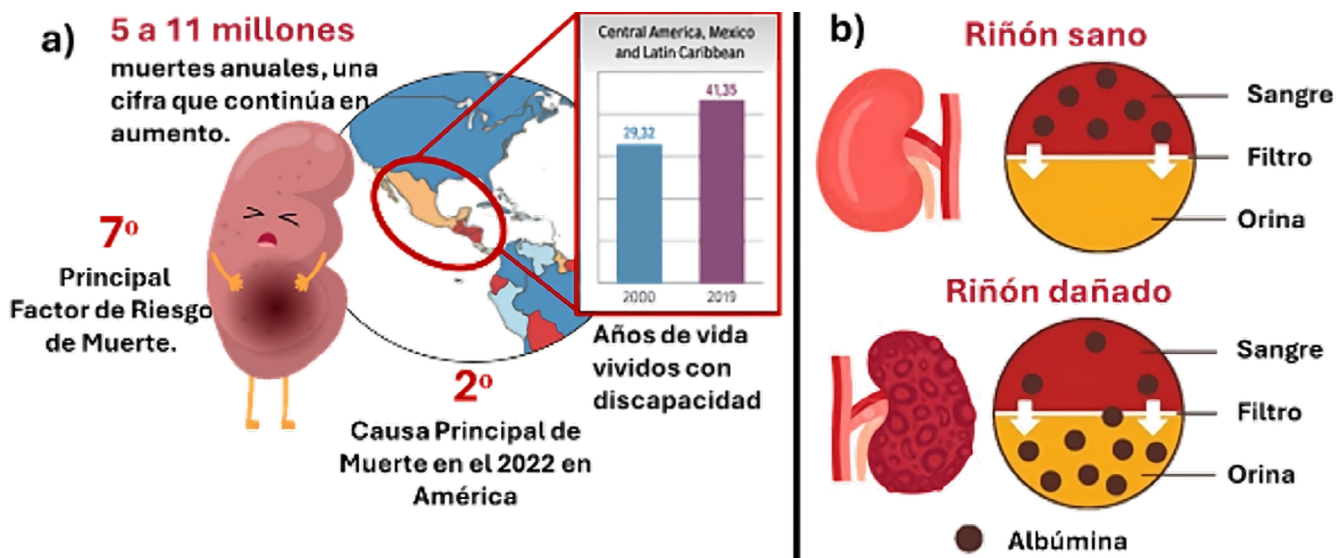


Figura 1. a) Crecimiento de las enfermedades renales a nivel global, impacto en América y México. b) Presencia de albúmina en la orina asociada a daño renal.

Sin embargo, cuando se presentan afecciones renales, como en el caso de la ERC, las unidades de filtración del riñón se ven afectadas, lo que permite que la albúmina se filtre y se excrete en la orina en mayor cantidad [4], como se representa en el escenario inferior de la Figura 1b. Este aumento se conoce como albuminuria y representa un importante factor

de riesgo para la progresión de la ERC. De hecho, algunos estudios sugieren que más del 50% de los casos de ERC podrían pasar desapercibidos si se ignora la albuminuria [4]. Por lo tanto, el correcto monitoreo de la albúmina permite identificar tempranamente el daño renal y tomar medidas para prevenir su progresión.

Detección de albúmina: limitaciones de los métodos convencionales.

La detección clínica de albúmina se ha realizado mediante técnicas como cromatografía, espectrofotometría, electroforesis y ensayos inmunoquímicos. Sin embargo, estas tecnologías enfrentan desafíos frente a las demandas actuales: altos costos, necesidad de equipos especializados, largos tiempos de análisis y dependencia de personal capacitado para obtener resultados confiables (Figura 2).

Además, los métodos más económicos o sencillos suelen carecer de la sensibilidad o selectividad necesarias para garantizar el adecuado seguimiento de la albúmina en muestras biológicas complejas como la orina o la sangre, donde abundan otras moléculas que pueden interferir en el análisis [2]. Esto obliga a procedimientos extensos de laboratorio, lo que aumenta el tiempo de entrega de resultados y puede introducir errores [4], [5].

Actualmente se buscan nuevas estrategias para el seguimiento de la albúmina, principalmente enfocadas en el desarrollo de sensores que tengan la capacidad de detectar exclusivamente la molécula objetivo, incluso cuando hay otras sustancias presentes en la muestra, y que puedan identificar pequeñas cantidades del biomarcador, lo cual es clave para diagnósticos tempranos de la ERC [6].

Sensores electroquímicos como una alternativa prometedora.

Con el fin de mejorar la detección de albúmina han surgido nuevas estrategias basadas en el desarrollo de sensores electroquímicos, los cuales han demostrado tener el potencial para brindar la determinación rápida, precisa y accesible de la albúmina en muestras de sangre y orina.

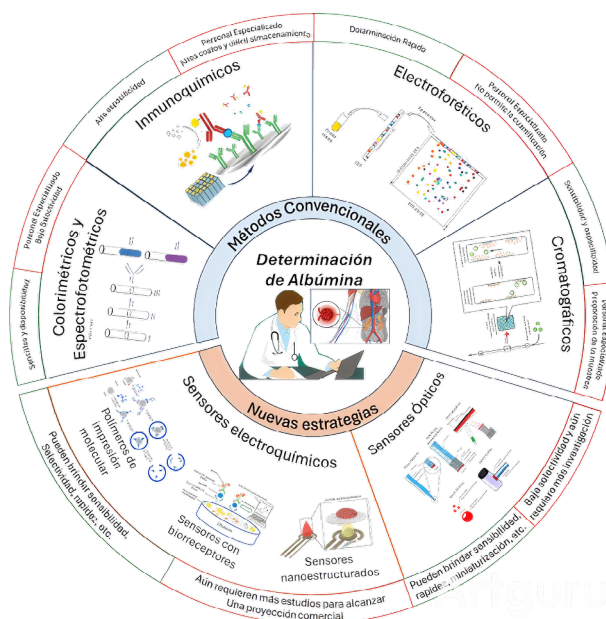


Figura 2. Representación de las principales técnicas implementadas para la determinación de albúmina en muestras de sangre y orina. En la parte superior aparecen las convencionales; en la inferior, nuevas estrategias con sus ventajas y desventajas.

Estos dispositivos funcionan mediante una señal eléctrica generada por la interacción entre el biomarcador y una plataforma de reconocimiento constituida por un electrodo con superficie modificada.

Un ejemplo notable del éxito de esta tecnología son los sensores de glucosa, ampliamente utilizados para el monitoreo rápido y preciso de los niveles de azúcar en sangre en pacientes diabéticos, convirtiéndose en una de las tecnologías que domina el mercado del análisis clínico [7], [8].

En el caso de la albúmina, aunque los sensores aún se encuentran en desarrollo, incorporan tecnologías como materiales nanoestructurados, polímeros de impresión molecular (PIM, materiales con cavidades diseñadas para atrapar moléculas específicas) y biorreceptores. Estas superficies buscan mejorar la selectividad y sensibilidad de los sensores, superando varios problemas asociados a la detección de albúmina en muestras humanas.

combinados con materiales nanoestructurados, permiten obtener alta sensibilidad [10], [11]. Son promisorios por su estabilidad y bajo costo de fabricación.

Sensores con biorreceptores

En este caso, la superficie de reconocimiento contiene estructuras biológicas como anticuerpos o aptámeros (fragmentos de ADN o ARN diseñados para reconocer moléculas específicas). Estas moléculas se unen selectivamente a la albúmina (Figura 3d).

Gracias a su alta especificidad, estos sensores permiten detectar niveles muy bajos del biomarcador. Sin embargo, suelen tener mayor costo de producción y menor estabilidad frente a cambios del entorno [12].

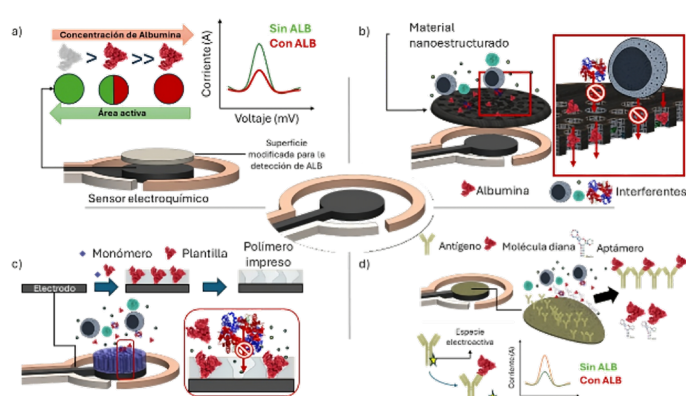


Figura 3. a) Representación del mecanismo de determinación electroquímica de albúmina mediante sensores de afinidad. b) Uso de materiales nanoestructurados. c) Polímeros de impresión molecular. d) Biorreceptores.

Perspectivas de aplicación clínica

En el campo del diagnóstico médico existe una tendencia hacia pruebas más sencillas y rápidas. En particular, los diagnósticos en el punto de atención (DPA, pruebas realizadas fuera del laboratorio en menos de una hora) son cada vez más demandados [6].

Los sensores electroquímicos, debido a su tamaño compacto, bajos costos de fabricación y capacidad de integración con dispositivos móviles y

microchips, resultan ideales para estas aplicaciones, demostrando su potencial en la lucha contra la ERC.

Conclusión: una herramienta del futuro para el diagnóstico de la ERC

Los sensores electroquímicos están revolucionando la detección de albúmina y, con ello, el diagnóstico y monitoreo de enfermedades como la enfermedad renal crónica. Gracias a materiales nanoestructurados, biorreceptores y polímeros de impresión molecular, se ha mejorado significativamente su sensibilidad y selectividad, haciéndolos promisorios para el desarrollo de dispositivos DPA que permitan una detección más accesible, rápida y práctica.

Referencias

- [1] OPS, La carga de enfermedades renales en la Región de las Américas, 2000–2019, Portal de Datos ENLACE. Disponible en: https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=15853%3Adata-portal-enlace-ckd-burden&Itemid=0&lang=es
- [2] A. Francis et al., "Chronic kidney disease and the global public health agenda: an international consensus," *Nature Reviews Nephrology*, vol. 20, no. 7, pp. 473–485, 2024, doi: <https://doi.org/10.1038/s41581-024-00820-6>
- [3] E. Gremese, D. Bruno, V. Varriano, S. Perniola, L. Petricca, and G. Ferraccioli, "Serum Albumin Levels: A Biomarker to Be Repurposed in Different Disease Settings in Clinical Practice," *Journal of Clinical Medicine*, vol. 12, no. 18, p. 6017, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/jcm12186017>
- [4] A. S. Levey, C. Becker, and L. A. Inker, "Glomerular Filtration Rate and Albuminuria for Detection and Staging of Acute and Chronic Kidney Disease in Adults," *JAMA*, vol. 313, no. 8, p. 837, Feb. 2015, doi: <https://doi.org/10.1001/jama.2015.0602>
- [5] J. I. Park, H. Baek, B. R. Kim, and H. H. Jung, "Comparison of urine dipstick and albumin:creatinine ratio for chronic kidney disease screening: A population-based study," *PLoS One*, vol. 12, no. 2, p. e0171106, Feb. 2017, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171106>
- [6] E. C. Wilkerson et al., "Affinity-based electrochemical sensors for biomolecular detection in whole blood," *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, vol. 415, no. 18, pp. 3983–4002, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s00216-023-04627-5>
- [7] Y. Yang et al., "Glucose sensors based on electrodeposition of molecularly imprinted polymeric micelles: A novel strategy for MIP sensors," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 26, no. 5, pp. 2607–2612, Jan. 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2010.11.015>
- [8] R. M. Rhemrev-Boom, R. G. Tiessen, A. A. Jonker, K. Venema, P. Vадgama, and J. Korf, "A lightweight measuring device for the continuous in vivo monitoring of glucose by means of ultraslow

Referencias

- microdialysis in combination with a miniaturised flow-through biosensor,” *Clinica Chimica Acta*, vol. 316, no. 1–2, pp. 1–10, Feb. 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0009-8981\(01\)00574-5](https://doi.org/10.1016/S0009-8981(01)00574-5)
- [9] P. Yomthiangthae, O. Chailapakul, and W. Siangproh, “Rapid urinary albumin detection using a simple redox cycling process coupled with a paper-based device,” *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 911, p. 116230, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2022.116230>
- [10] A. Jahanban-Esfahlan and R. Amarowicz, “Molecularly imprinted polymers for sensing/depleting human serum albumin (HSA): A critical review of recent advances and current challenges,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 266, p. 131132, May 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131132>
- [11] G. Zhang, Y. Yu, M. Guo, B. Lin, and L. Zhang, “A sensitive determination of albumin in urine by molecularly imprinted electrochemical biosensor based on dual-signal strategy,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 288, pp. 564–570, Jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.03.042>
- [12] N. J. Ronkainen, H. B. Halsall, and W. R. Heineman, “Electrochemical biosensors,” *Chemical Society Reviews*, vol. 39, no. 5, p. 1747, 2010, doi: <https://doi.org/10.1039/b714449k>



Nanomateriales: pequeños materiales que generan grandes avances hacia la detección oportuna de la insuficiencia renal



Ing. María del Carmen Torres Pedroza

Dr. Noé Arjona

Dra. Beatriz Liliana España Sánchez*

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica
lespana@cideteq.mx

Resumen

La enfermedad renal crónica puede avanzar sin síntomas evidentes, y aunque los riñones cumplen funciones esenciales como filtrar desechos y mantener el equilibrio del cuerpo, detectarla a tiempo sigue siendo un reto. En este contexto, la ciencia de los nanomateriales —partículas miles de veces más pequeñas que el grosor de un cabello— ha impulsado el desarrollo de dispositivos sencillos y portátiles capaces de identificar sustancias asociadas con daño renal. Estos sensores utilizan reacciones electroquímicas, es decir, cambios eléctricos producidos por sustancias químicas, para medir de manera rápida y precisa indicadores de salud. Este artículo explica cómo estos pequeños materiales están cambiando la forma de diagnosticar enfermedades renales, mostrando su potencial para facilitar detecciones más tempranas, accesibles y confiables, con el fin de mejorar la calidad de vida y apoyar a los sistemas de salud.

Introducción

Los riñones son órganos vitales, esenciales para el buen funcionamiento del cuerpo. Su función principal es eliminar los desechos por medio de la filtración de la sangre. Para comprender

mejor cómo funciona este proceso, en la Figura 1 se muestra un ejemplo donde se representa el ingreso de nutrientes mediante una “mandarina”. Se observa cómo el desecho, representado por la cáscara, se

dirige al uréter —el tubo que transporta los desechos en la orina desde el riñón hasta la vejiga— mientras que la pulpa permanece en el cuerpo. Esto ocurre porque el organismo es capaz de separar lo que le sirve, como vitaminas, agua y minerales, de lo que no necesita, como toxinas o sal en exceso. Para que el cuerpo cumpla estas funciones de manera adecuada es necesario mantener buenos hábitos. Si elegimos alimentos saludables, nuestros riñones reciben menos “basura” que filtrar y trabajan de manera más ligera y eficiente. En cambio, si consumimos mucha sal, refrescos o alimentos ultraprocesados, el riñón debe esforzarse más; con el tiempo se desgasta y puede contribuir al desarrollo de enfermedades renales.

La enfermedad renal crónica: un problema creciente

Pero ¿qué pasa cuando los riñones comienzan a fallar sin que nos demos cuenta? Cuando pierden la capacidad de eliminar desechos y equilibrar fluidos se desarrolla la enfermedad renal crónica (ERC), la cual, si no se detecta a tiempo, puede provocar complicaciones graves. Tan solo en México se estima que 1 de cada 10 habitantes padece ERC [1]. Esta enfermedad suele ser consecuencia de problemas como hipertensión o diabetes, y representa una alta carga de mortalidad y años de vida perdidos.

Los sistemas de salud tampoco cuentan con la infraestructura ni recursos suficientes para atender a todos los pacientes. Según estudios presentados por la revista médica del Instituto Mexicano del Seguro Social, el costo promedio anual del paciente con ERC manejado con hemodiálisis varía entre \$223,183 y \$257,000 [2]. Debido a estas cifras tan altas, actualmente se hace énfasis en la detección temprana, ya que un tratamiento oportuno puede ralentizar la progresión de la enfermedad. Sin embargo, existe una falta de pruebas universales, y las que tenemos disponibles suelen ser costosas debido a la complejidad de su fabricación.

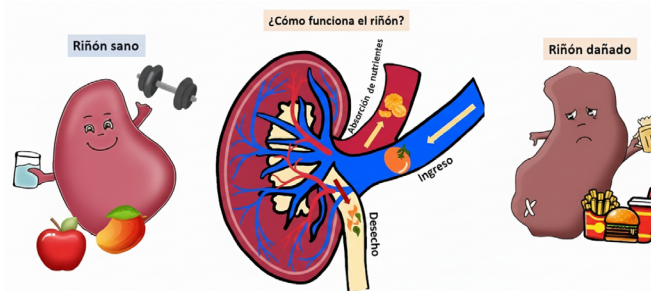


Figura 1. Descripción gráfica de la función del riñón.

Actualmente, las técnicas para detectar marcadores de ERC se realizan mediante reacciones químicas, ensayos colorimétricos o métodos especializados como la cromatografía. Aunque estas técnicas son precisas, suelen ser costosas, complejas, requieren tiempo y en ocasiones los resultados no son completamente confiables, lo que limita un buen diagnóstico.

Métodos electroquímicos: una alternativa más accesible

Ante estas limitaciones han surgido los métodos electroquímicos, que permiten análisis rápidos sin requerir laboratorios especializados. Estos métodos detectan compuestos clave presentes en fluidos como sangre, orina o saliva.

Pero ¿qué son los métodos electroquímicos? Son técnicas que estudian reacciones químicas donde existe transferencia de electrones, lo que genera señales eléctricas medibles. Sus principales ventajas son bajo costo, alta sensibilidad y posibilidad de miniaturización [3].

Nanomateriales: la revolución microscópica

Los llamados nanomateriales, mil veces más pequeños que el grosor de un cabello humano, están revolucionando la forma de diagnosticar ERC en etapas tempranas. En la Figura 2 se observa la escala de tamaños donde se encuentran.

En esa escala los materiales presentan propiedades únicas, como mayor reactividad, mejor conductividad eléctrica y enorme área superficial [4].

Esto permite que existan más sitios donde ocurren reacciones químicas con los analitos, lo que aumenta la sensibilidad de los sensores.

Así, los sensores electroquímicos con nanomateriales permiten detectar concentraciones muy bajas de sustancias en forma rápida y precisa, lo que los convierte en una alternativa prometedora para un diagnóstico no invasivo de enfermedades renales.

Un compuesto fundamental para evaluar la función renal es la creatinina, una sustancia de desecho eliminada tras filtrarse la sangre. Si los riñones no funcionan correctamente, los niveles de creatinina aumentan, lo que puede indicar daño renal. Esta molécula forma complejos con metales como plata, hierro, titanio y cobre, lo que facilita su detección electroquímica.

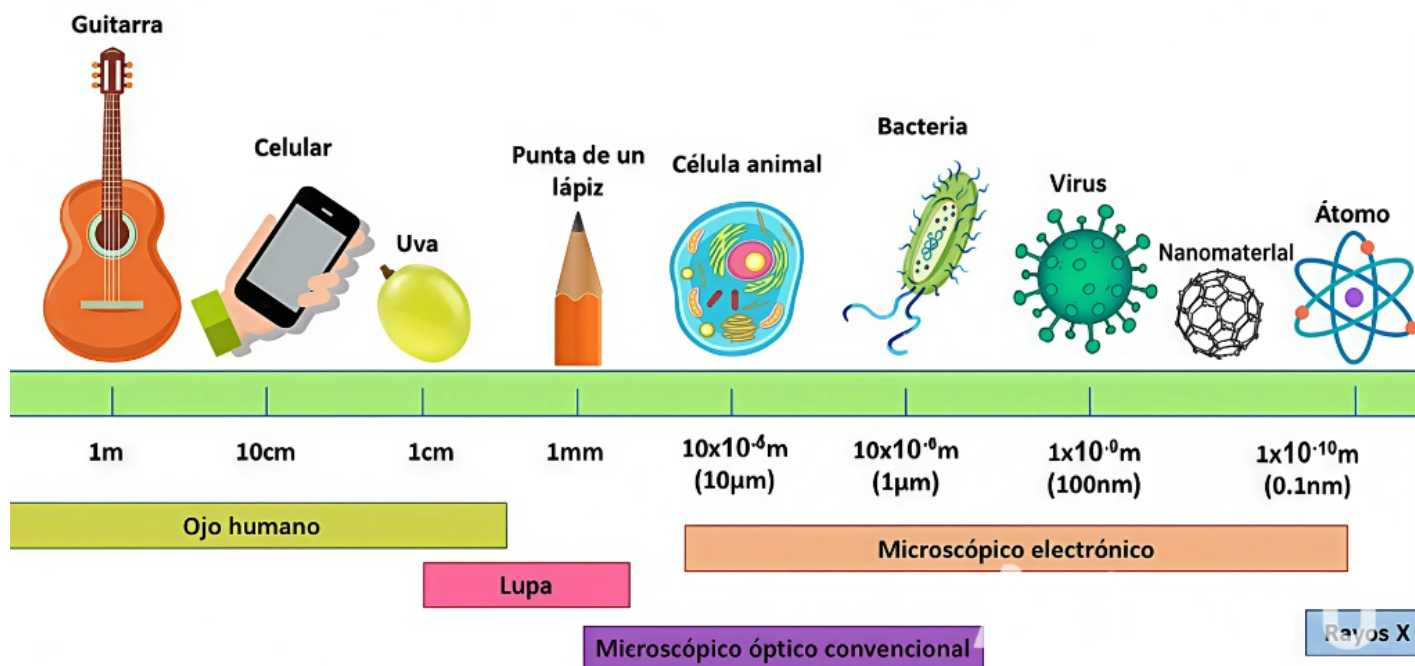


Figura 2. Escala comparativa de diferentes tamaños desde 1 metro hasta la diezmilmillonésima parte de un metro.

El cobre es uno de los metales más adecuados para detectar creatinina, ya que es abundante, tiene buena conductividad, es económico y produce señales electroquímicas estables. En centros de investigación como CIDETEQ, ubicado en Pedro Escobedo, Querétaro, se ha confirmado que el cobre tiene alta afinidad por la creatinina.

En la Figura 3 se muestra un sistema electroquímico donde se utiliza un electrodo modificado con un nanomaterial de cobre. Al añadir diferentes concentraciones de creatinina, se forma un complejo cobre-creatinina y se observa un aumento en la corriente eléctrica. Esta señal se relaciona directamente con la concentración de creatinina, permitiendo su detección efectiva.

Por ello, los métodos electroquímicos representan una alternativa prometedora para diagnosticar enfermedades renales, incluso en lugares con acceso limitado a servicios médicos especializados [5]. Esto permite que existan más sitios donde ocurren reacciones químicas con los analitos, lo que aumenta la sensibilidad de los sensores.

Así, los sensores electroquímicos con nanomateriales permiten detectar concentraciones muy bajas de sustancias en forma rápida y precisa, lo que los convierte en una alternativa prometedora para un diagnóstico no invasivo de enfermedades renales.

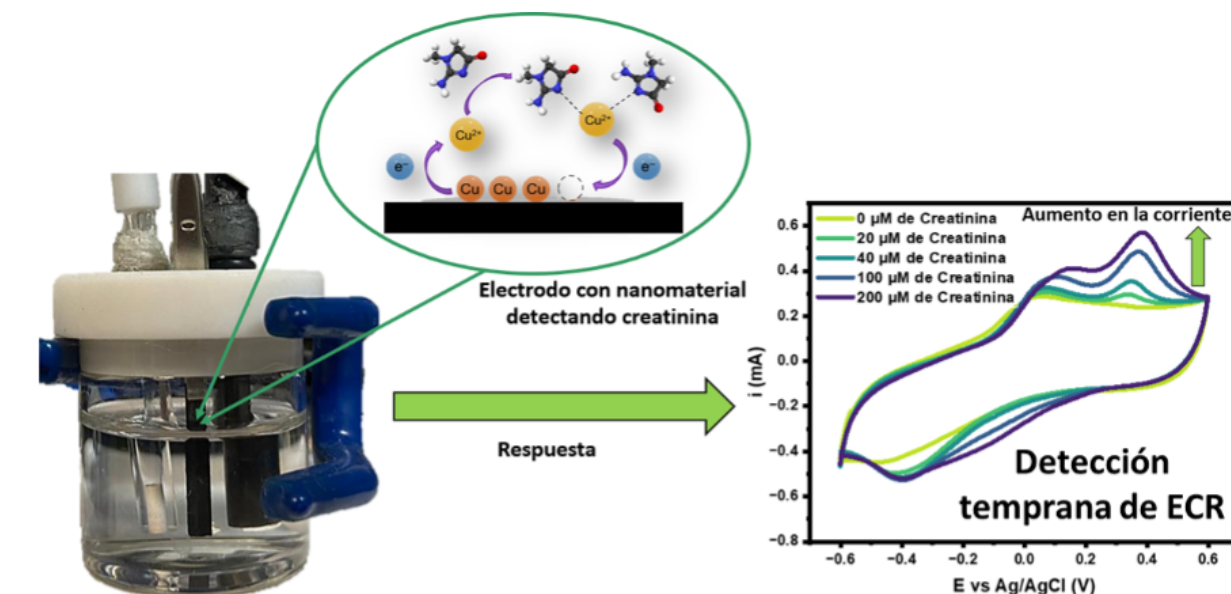


Figura 3. Sistema de detección electroquímica de creatinina.

Conclusiones

La detección temprana de la insuficiencia renal ya no es solo una esperanza, sino una realidad en construcción. Gracias a los nanomateriales, estamos cada vez más cerca de ofrecer diagnósticos rápidos, accesibles y confiables. En un futuro no muy lejano, monitorear la salud de nuestros riñones podría ser tan sencillo como soplar sobre un sensor o colocar una gota de saliva en un pequeño chip.

Referencias

- [1] E. R. Argaiz et al., "The burden of chronic kidney disease in Mexico. Data analysis based on the Global Burden of Disease 2021 study," *Gac Med Mex*, vol. 159, no. 6, pp. 501–508, 2023, doi: <https://doi.org/10.24875/GMM.23000393>.
- [2] E. Villarreal-Ríos et al., "[Institutional cost of the patient with chronic kidney disease managed with hemodialysis]," *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*, vol. 58, no. 6, pp. 698–708, 2020, doi: <https://doi.org/10.24875/RMIMSS.M20000103>.
- [3] A. M. Fekry et al., "An electrochemical sensor for creatinine based on carbon nanotubes/folic acid/silver nanoparticles modified electrode," *Measurement*, vol. 163, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107958>.
- [4] M. Ramya et al., "A recent advancement on the applications of nanomaterials in electrochemical sensors and biosensors," *Chemosphere*, vol. 308, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136416>.

- [5] K. Montoya-Cano et al., "Copper nanocubes as electrochemical sensor for creatinine detection," *Mater Lett*, vol. 382, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2024.137939>.



De tradición y nanofibras: cómo el arte textil mexicano inspira la ciencia del electrohilado para el desarrollo de textiles antimicrobianos

Lic. Andrea Mariana Olvera Vargas

Dra. Claramaría Rodríguez González

Dra. Beatriz Liliana España Sánchez*

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica
lespana@cideteq.mx



Resumen

¿Imaginas un rebozo que conserve la memoria cultural de México y, al mismo tiempo, elimine bacterias? Este artículo revela cómo la tradición textil inspira nuevas tecnologías mediante el electrohilado, una técnica que permite fabricar fibras extremadamente delgadas —mucho más finas que un cabello humano— capaces de cumplir funciones especiales. Al integrar nanopartículas de dióxido de titanio, un material con propiedades antimicrobianas, estos tejidos pueden liberar sustancias beneficiosas o combatir microbios, convirtiéndose en herramientas para la salud y la protección. Así, ciencia y herencia se entrelazan para demostrar que los textiles del futuro no solo pueden abrigar y contar historias, sino también mejorar nuestra calidad de vida, abriendo paso a innovaciones que honran el pasado mientras generan soluciones para el presente y el bienestar colectivo.

Introducción

Piensa por un momento en ese suave suéter que esperas cada año utilizar en invierno, en la cobija que tejió tu madre al momento de tu nacimiento o en aquel rebozo lleno de flores coloridas con el que tu abuela te tapaba con tanto amor. Son hilos entrelazados que tienen un significado,

guardan historias, transmiten afectos y forman parte de nuestra identidad. Más allá de eso, las diferentes texturas de los hilos con los que son fabricados, su durabilidad y su función pueden dejar un impacto significativo en nuestra vida. Además de su valor cultural y simbólico, los tejidos también son un punto

de partida para el desarrollo de nuevas tecnologías capaces de explorar formas innovadoras de fabricación, con un enfoque de utilidad y significado de largo alcance.

El propósito de este artículo es explorar la fusión entre la tradición textil mexicana y la técnica moderna del electrohilado, y cómo esta combinación da lugar a nuevos textiles con propiedades antimicrobianas, abriendo un diálogo entre ciencia y cultura.



Figura 1. Representación esquemática de la fabricación de textiles en la cultura cotidiana.

Pero ¿qué pasaría si combinamos este legado artesanal con una de las tecnologías más avanzadas en el desarrollo de textiles funcionales? ¿Qué maravillas podríamos obtener? Esta es la pregunta que hoy muchos investigadores quieren responder.

Si bien son objetos, de acuerdo con lo reportado por Cruz [1], la cultura material y el tiempo son elementos necesarios que permiten comprender cómo es que estos textiles trascienden en la historia y en la vida cotidiana (Figura 1). Desde un punto de vista más específico, como lo es el industrial, la moda, lo gráfico o incluso lo científico, los textiles son una forma de comunicación que permite la conexión con

personas, con el fin de enviar mensajes visuales, experiencias y emociones.

¿Has oído hablar del electrohilado?

El electrohilado es una técnica de laboratorio ampliamente utilizada para el procesamiento de textiles, en la que es posible crear fibras tan delgadas como la tela de una araña, con diámetros que van desde los 50 nanómetros hasta los micrómetros. Esto significa que es posible fabricar fibras más delgadas que el tamaño de muchas bacterias y que, al ser enlazadas entre sí, permiten crear telas con diferentes características, desde el incremento de su área superficial hasta la presencia de aditivos en la tela que pueden mejorar su funcionalidad.

Este fenómeno se produce por efecto de la aplicación de energía eléctrica a una solución de polímero (la materia prima de las fibras) colocada dentro de una jeringa, donde, a través de una diferencia de potencial aplicada entre una aguja y una superficie con carga negativa, se cargan eléctricamente las cadenas poliméricas. Esto genera una fuerza electrostática que sobrepasa la tensión superficial, dando como resultado la formación de fibras delgadas, las cuales pueden ser recuperadas en una superficie denominada colector hasta formar una tela o membrana [2].

Principales componentes del electrohilado

Para que la formación de estas fibras sea posible, es importante tener en cuenta que existen elementos clave que conforman el sistema de electrohilado, entre los cuales destacan una bomba de inyección encargada de liberar la materia prima para la formación de fibras; una fuente de poder (generadora de voltaje) que va conectada a la aguja, encargada de generar la energía necesaria para cargar las moléculas poliméricas, y un colector, responsable de recolectar las fibras generadas. En la Figura 2 se presenta un esquema representativo con los principales componentes del sistema de electrohilado.

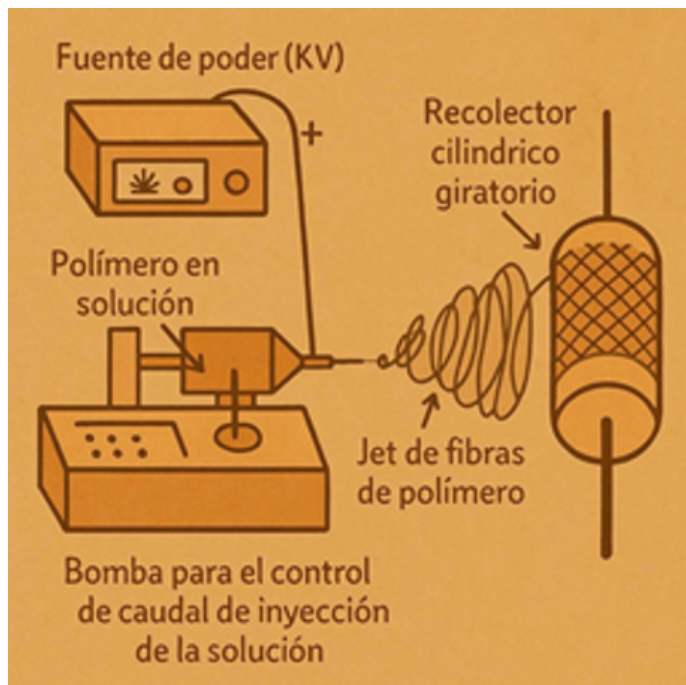


Figura 2. Esquema representativo de los principales componentes de un equipo de electrohilado.

Aunque el electrohilado es producto de la ciencia contemporánea, su esencia comparte un vínculo profundo con el arte textil tradicional: ambas prácticas transforman fibras en superficies con un significado y una utilidad. Así como los artesanos han tejido durante siglos para vestir, proteger y narrar historias, hoy la ciencia busca entrelazar la tecnología con la cultura para crear textiles que, además de cumplir funciones avanzadas, preserven y resignifiquen nuestra herencia, tal como lo han hecho las tradiciones textiles mexicanas a lo largo de siglos.

Fusión de la tradición ancestral y la innovación en el desarrollo de textiles

A pesar de los avances tecnológicos contemporáneos, vivimos en una época en la que, incluso entre círculos intelectuales, persiste la tendencia a desestimar las colecciones etnográficas, considerándolas objetos fácilmente reemplazables, ya que la cultura moderna ha impulsado una dinámica de constante innovación en el vestir diario, donde la tendencia de

“prendas de un solo uso” se ha vuelto algo cotidiano. Esta visión minimiza el profundo valor simbólico, cultural y tecnológico de los textiles que nuestros ancestros han fabricado y en los cuales persiste la originalidad cultural.

En este contexto, es fundamental reconocer la relevancia que el arte de tejer ha tenido históricamente, no solo como técnica utilitaria para vestir y proteger el cuerpo, sino como un sofisticado medio de comunicación y expresión. En las sociedades prehispánicas, los textiles constituían un lenguaje visual cargado de significado, utilizado para narrar historias, transmitir vivencias y desempeñar un papel central en rituales, estructuras sociales y escenarios políticos [3]. Los vestigios textiles que han perdurado hasta nuestros días revelan una intención narrativa y simbólica detrás de cada diseño. Lejos de ser meros ornamentos, los patrones y figuras representaban tributos, identidades comunitarias y jerarquías sociales. Desde simples tejidos de algodón blanco hasta las elaboradas “mantas ricas” adornadas con complejos motivos iconográficos, cada textil era portador de un mensaje [1].

En este sentido, la comprensión del desarrollo de tejidos como portadores de información representa un área científica de oportunidad sorprendente, enfocada en la ciencia de los materiales. La creación de textiles funcionales mediante tecnologías innovadoras como el electrohilado permite, desde un enfoque moderno, incorporar diferentes características al tejido: desde la liberación controlada de fármacos y el uso de aditivos antimicrobianos, hasta la incorporación de elementos de detección de moléculas específicas, lo cual implica también una nueva forma de “escribir” mensajes en los materiales [4]–[6]. Así, la ciencia actual no solo encuentra inspiración en el pasado, sino que revaloriza el textil como una superficie cargada de significado, tanto cultural como funcional.

Del rebozo a la nanofibra antimicrobiana

En este contexto, es posible imaginar la creación de una nueva “manta rica”, no adornada con flores o relatos mitológicos como en tiempos prehispánicos, sino con compuestos invisibles al ojo humano, pero dotados de capacidades extraordinarias. Tal es el caso de las nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2), cuyas tres fases cristalinas (rutilo, anatasa y brookita) ofrecen propiedades antimicrobianas altamente específicas.

El dióxido de titanio (TiO_2) es un mineral que se encuentra de forma natural en tres fases cristalinas: la anatasa y el rutilo (ambas tetragonales) y la brookita (romboédrica). La brookita y la anatasa son fases metaestables, mientras que el rutilo es un material termodinámicamente muy estable y es la forma más común de TiO_2 que se encuentra en la naturaleza [7].

En las últimas décadas (Figura 3), el TiO_2 se ha convertido en uno de los materiales más estudiados, pues sus aplicaciones suelen clasificarse en cuatro grandes categorías según sus propiedades. Por ejemplo, sus características ópticas lo hacen ideal para protección contra radiación ultravioleta (UV), mientras que su capacidad fotocatalítica lo convierte en un material idóneo para la descomposición de contaminantes ambientales como el metanotiol (CH_3SH), un gas incoloro con olor a col podrida que se libera de aguas residuales y desechos sólidos. Además, se utiliza comúnmente para eliminar bacterias como *Escherichia coli* (*E. coli*), una bacteria Gram negativa ampliamente utilizada como organismo modelo y, en ciertas cepas, reconocida por su potencial patógeno en humanos, y para atacar células tumorales en tratamientos contra el cáncer [7].

Número de documentos por año relacionados con TiO_2 antibacterial

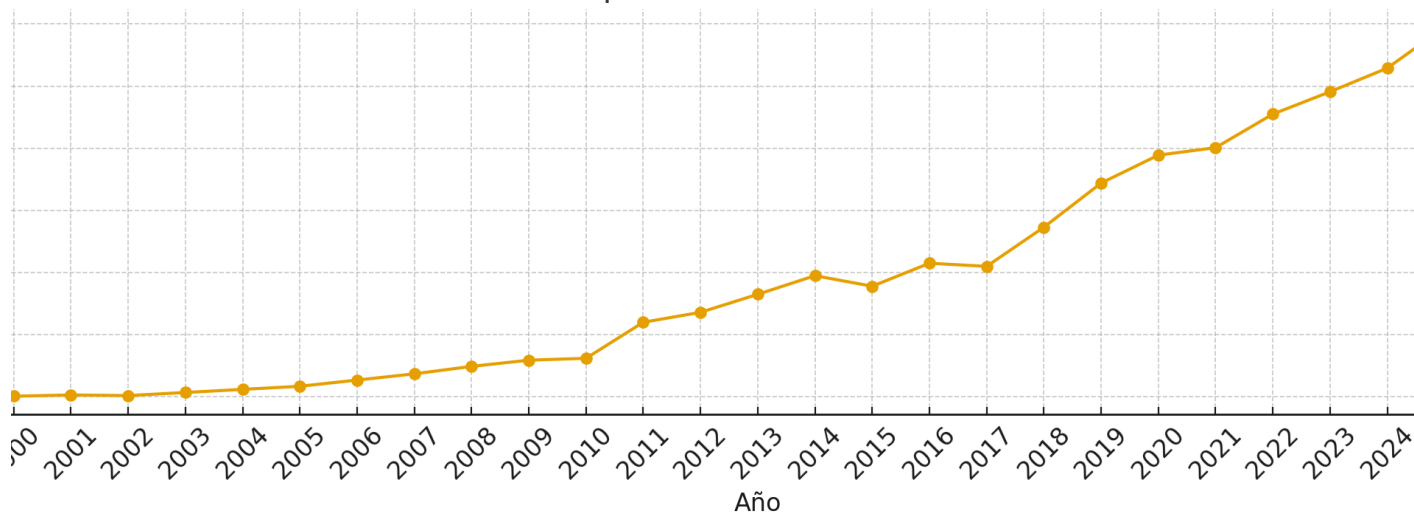


Figura 3. Número de documentos por año relacionados con la frase “ TiO_2 antibacterial”. Fuente: Scopus.

Estos resultados se explican mediante su mecanismo de reacción, basado en el fenómeno de fotoexcitación: al exponerse a luz ultravioleta o visible, el TiO_2 genera radicales libres, especies químicas inestables con uno o más electrones desapareados en su orbital externo, de vida corta y alta reactividad, capaces de reaccionar de manera inespecífica con componentes celulares como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos [8], y especies reactivas de oxígeno (ROS,

por sus siglas en inglés), capaces de atacar y destruir las membranas celulares bacterianas, llevándolas a la muerte [9].

Sin embargo, tanto el uso del TiO_2 como la técnica de electrohilado presentan limitaciones. En el caso del TiO_2 , su actividad antimicrobiana depende de condiciones específicas de iluminación y de un control estricto del tamaño de partícula para evitar toxicidad en contacto prolongado con la piel. En

cuanto al electrohilado, la producción a gran escala requiere equipos especializados, control ambiental preciso y procesos de pos-tratamiento para asegurar la durabilidad de las propiedades funcionales en aplicaciones reales.

A pesar de estas limitaciones, su uso sigue siendo considerable, pues esta nueva generación de textiles funcionales se convierte en un medio contemporáneo de comunicación científica, en donde cada fibra porta no solo una función, sino una narrativa de innovación y protección, en sintonía con los principios que guiaron el arte textil ancestral (Figura 4).



Figura 4. Esquema representativo de las fases cristalinas del TiO_2 como agente antimicrobiano en textiles.

El electrohilado ofrece un puente que conecta el legado textil y las demandas tecnológicas actuales. No obstante, presenta retos que, si bien no impiden su producción, pueden dificultarla, como la escalabilidad industrial, la estabilidad de los aditivos antimicrobianos y la resistencia mecánica del tejido obtenido. Aun así, las ventanas de oportunidad son enormes, desde textiles con aplicación antibacteriana hasta ropa deportiva [10].

Conclusiones

El tejido no solo es un arte, una artesanía o la herencia de nuestros antepasados, sino que es la unión de una gran variedad de disciplinas, capaz de conectar a las personas y sus historias. Así como el acto de tejer implica entregarse a otros y regalar el tiempo de creación a un ser amado, también es un medio de subsistencia, resiliencia, resistencia y empoderamiento.

La ciencia, a través de miles de nuevas tecnologías —no solo el electrohilado—, busca entrelazar los avances tecnológicos con tradiciones milenarias. Esto demuestra cómo se pueden transformar los textiles en herramientas multifuncionales que abren nuevas fronteras en la biomedicina y la sostenibilidad ambiental.

Al unir ciencia y tradición, somos capaces de imaginar un futuro donde lo mejor de ambos mundos se entrelaza para crear soluciones que no solo protegen, sino que también cuentan historias y preservan nuestra esencia cultural. Así que, la próxima vez que sostengas entre tus manos una prenda tejida, recuerda que, al igual que los hilos que la componen, ciencia y tradición pueden entrelazarse para forjar un futuro más resistente y conectado.

Referencias

- [1] A. M. Cruz, "El tejido del tiempo: El diseño en el textil prehispánico mexicano," *Papeles de Cultura Contemporánea Hum736*, vol. 23, pp. 133–146, 2021, doi: <https://doi.org/10.30827/pcc.vi23.21717>.
- [2] R. Castellanos-Espinoza, N. Arjona, y B. L. España-Sánchez, "Advances in electrospun nanostructured membranes for wastewater treatments: Challenges and opportunities," en *Environmental Science and Engineering, Part F65*, 2025, pp. 119–138, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-48150-5_7.
- [3] M. Xochiquétzal y R. García, "Tejer y resistir. Etnografías audiovisuales y narrativas textiles," *Universitas-XXI: Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, no. 27, pp. 139–160, 2017, doi: <https://doi.org/10.17163/uni.n27.2017.6>.
- [4] Y. Z. Cortes, L. M. Valenzuela, E. A. E. Pena, y B. L. España-Sánchez, "Antibacterial activity of electrospun nanocomposites fabricated by in situ chitosan/silver nanoparticles," *IEEE Transactions on Nanobioscience*, vol. 21, no. 1, pp. 89–96, 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/TNB.2021.3092287>.

Referencias

- [5] M. M. Hernández-Orozco et al., "Antibacterial and electrochemical evaluation of electrospun polyethersulfone/silver composites as highly persistent nanomaterials," *Polymer Composites*, vol. 44, no. 3, pp. 1711–1724, 2023, doi: <https://doi.org/10.1002/pc.27199>.
- [6] M. del C. Torres-Pedroza et al., "Multifunctional biological performance of electrospun PCL scaffolds formulated with silver sulfide nanoparticles," *Polymers*, vol. 17, no. 2, p. 230, 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/polym17020230/s1>.
- [7] C. P. Betancur Henao, V. Hernández Montes, y R. Buitrago Sierra, "Nanopartículas para materiales antibacterianos y aplicaciones del dióxido de titanio," *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, vol. 35, no. 4, pp. 387–402, 2016. Disponible en: https://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03002016000400009&script=sci_arttext
- [8] J. R. Venereo Gutiérrez, "Daño oxidativo, radicales libres y anti-oxidantes," *Revista Cubana de Medicina Militar*, vol. 31, no. 2, pp. 126–133, 2002. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/mil/v31n2/mil09202.pdf>
- [9] G. Zhang et al., "Study on the photocatalytic and antibacterial properties of TiO₂ nanoparticles-coated cotton fabrics," *Materials*, vol. 12, no. 12, p. 2010, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/ma12122010>.
- [10] R. Gulati, S. Sharma, y R. K., "Antimicrobial textile: recent developments and functional perspective," *Polymer Bulletin*, vol. 79, no. 8, pp. 5747–5771, 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03826-3>.



¿Son los autos eléctricos una medida para alcanzar un transporte sostenible en las ciudades?

Dr. Sergio Quezada García *

Dra. Azucena Escobedo Izquierdo

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Érick Espinosa Martínez

Universidad del Valle de México

Dr. Gilberto Espinosa Paredes

Universidad Nacional Autónoma de México

sequga@gmail.com



Resumen

El sector transporte en las ciudades incrementa de manera importante la contaminación acústica y la contaminación del aire; lo cual favorece el cambio climático. Por lo tanto, contar con un sistema de transporte sostenible es indispensable para disminuir las emisiones de gases contaminantes, reducir la congestión vehicular, disminuir el tiempo de traslado y mejorar el nivel de vida de las personas. Algunas de las estrategias propuestas consisten en sustituir los automóviles convencionales por autos eléctricos, reducir el kilometraje, disminuir el número de vehículos automotor en las calles, mejorar el sistema de transporte público y realizar nuestros recorridos a pie, bicicleta o patines. El presente trabajo tiene como objetivo contestar dos preguntas: la primera, ¿la adopción de autos eléctricos ayudará a construir un sistema de transporte sostenible? y la segunda, ¿hay otras medidas factibles para lograr un transporte sostenible? Para responder estas preguntas se proporcionan algunos datos sobre los autos eléctricos y las implicaciones que tiene su adopción a gran escala. Posteriormente, se explica en qué consiste la movilidad activa, algunas de sus ventajas y algunas de las barreras a las que se enfrenta.

Introducción

En las grandes ciudades, la movilidad urbana y el transporte son factores importantes en el nivel de vida de las personas que circulan por ellas. Sin embargo, el sector transporte incrementa de manera importante la contaminación acústica, la contaminación del aire y suele provocar congestión del tráfico vehicular; lo cual favorece el cambio climático y el efecto de isla urbana de calor.

El efecto de isla urbana de calor consiste en tener una mayor temperatura en las ciudades como consecuencia de la falta de vegetación, el aumento de las superficies impermeables (como los techos y el asfalto), las abundantes fuentes de calor (por ejemplo, las industrias y vehículos impulsados por combustibles de origen fósil) y las altas concentraciones de gases de efecto invernadero.

Lo anterior tiene impactos negativos en el ambiente y, por lo tanto, en la salud de las personas [1]. Se estima que la contaminación atmosférica está relacionada con millones de muertes prematuras cada año [2].

A nivel mundial, el sector transporte consume alrededor de 49.24% de los productos petrolíferos, que representa el 31.17% del consumo total energético y produce el 32.13% de las emisiones de gases de efecto invernadero [3]. Durante 2022 en México el sector transporte representó el 47.5% del consumo total de energía; de este consumo, 90.6% se debió al autotransporte [4]. Por lo tanto, para frenar el cambio climático y el efecto de isla urbana de calor es necesario reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al sector transporte (Figura 1). Durante el confinamiento debido a la pandemia del coronavirus SARS-CoV-2 se dio una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en este sector [5]. Bajo las políticas actuales, tanto la demanda de movilidad como las emisiones

del transporte seguirán creciendo hasta 2050; solamente se conseguirán reducciones importantes bajo escenarios con políticas de alta ambición en mitigación [6].

Ciertos estudios indican que algunas estrategias para lograr un transporte sostenible consisten en reducir el kilometraje y, por lo tanto, el consumo de combustible mediante la aplicación de distintos tipos de impuestos sobre los combustibles fósiles y los automóviles altamente contaminantes [7], [8]. Otras estrategias son mejorar los combustibles alternativos y promover los automóviles ecológicos. El transporte eléctrico se destaca como una solución necesaria para reducir la contaminación atmosférica y las emisiones de gases de efecto invernadero.



Figura 1. Automóviles emitiendo gases contaminantes en la ciudad.

Los gobiernos de todo el mundo planean adoptar los vehículos eléctricos para construir un sistema de transporte sostenible [9]; específicamente, se planea que los usuarios de autos convencionales realicen una transición hacia autos eléctricos. En este punto surge la pregunta: ¿la adopción de autos eléctricos ayudará a construir un sistema de transporte sostenible? A continuación, intentaremos brindar información suficiente al lector para responderla.

Algunos conceptos clave

A continuación, se explican brevemente algunos conceptos para ayudar a responder la pregunta de investigación planteada.

Transporte sostenible

La sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas, al tiempo que busca el bienestar social, económico y ambiental. De esta manera, el transporte sostenible tiene que ver con el desarrollo de soluciones de movilidad que contribuyan a reducir significativamente la emisión de contaminantes atmosféricos, sean accesibles para toda la población y además brinden seguridad y cuiden la salud pública [10].

Combustibles alternativos

Algunos combustibles alternativos son etileno y metanol producidos a partir de biomasa; así como etanol, distintos tipos de biodiésel y el hidrógeno verde, rosa y amarillo producidos a partir de fuentes renovables, nucleares y solares, respectivamente [11]. Con la sustitución de combustibles fósiles tradicionales se pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; sin embargo, la producción y uso de combustibles alternativos también tiene impactos negativos en el ambiente y la salud pública.

Automóvil ecológico

Los automóviles ecológicos utilizan tecnologías que parecen ser más limpias en comparación con los vehículos convencionales que queman gasolina o diésel. Algunos ejemplos son automóviles a etanol y biodiésel, de celda de combustible (hidrógeno), híbridos, eléctricos y solares que se encuentran en desarrollo o con una incipiente comercialización.

En la siguiente sección analizaremos si los autos eléctricos forman parte del transporte sostenible.

Autos eléctricos

Recordemos que una de las características del transporte sostenible es que debe contribuir a reducir la emisión de contaminantes atmosféricos. Los autos eléctricos permiten sustituir derivados del petróleo (gasolina y diésel) por electricidad como fuente de energía. De esta manera, el uso masivo de autos eléctricos implica un aumento de la demanda de energía eléctrica. Por lo tanto, la disminución de emisiones depende de las fuentes utilizadas para producir la electricidad [12]. Es decir, si la electricidad se produce a partir de fuentes fósiles no se tendrá una reducción real de emisiones.

En 2022, alrededor del 61.3% de la electricidad producida en el mundo provino de fuentes de origen fósil; mientras que en México el porcentaje fue aún mayor, ya que representó más del 70% [13] (Figura 2).

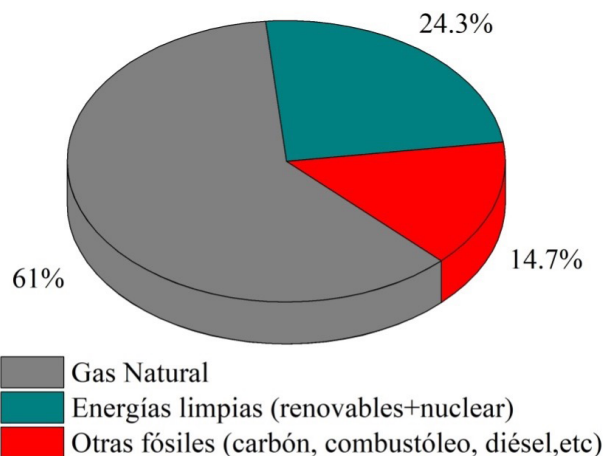


Figura 2. Generación eléctrica por fuente en México (SENER, 2023).

Por otra parte, el uso a gran escala de autos eléctricos enfrenta barreras debido a su mayor costo inicial, la limitada autonomía de las baterías, la falta de estaciones de recarga [14], el tiempo empleado para cargar el vehículo y el impacto negativo a los sistemas eléctricos debido a su recarga masiva [15]. Esta última barrera se refiere a que la recarga simultánea

de autos eléctricos puede provocar problemas en la calidad de energía como caídas de tensión, armónicos y desequilibrios trifásicos, entre otros.

Se han propuesto soluciones para superar estas barreras. Por ejemplo, la limitada autonomía de la batería puede resolverse mediante el aumento de su capacidad [16]. Sin embargo, las baterías representan una parte importante del precio de los autos eléctricos [7], pudiendo representar hasta el 50% del costo del vehículo si se requiere reemplazar (por ejemplo, Tesla Model 3). Además, su fabricación requiere enormes cantidades de materia prima y energía, obtenida en algunos casos a partir de fuentes fósiles. De acuerdo con el Instituto de Energías Renovables, una batería de litio para un auto eléctrico tiene una masa promedio de 1000 kg y se requieren aproximadamente 470 mil kg de roca y tierra para obtener los minerales necesarios para fabricarla [17]. Asimismo, los autos eléctricos tienden a ser más pesados que sus homólogos de combustión interna debido a sus grandes baterías, por lo que requieren más energía para impulsarse.

Otra posible solución es la instalación de carreteras eléctricas (también llamadas eRoads) para viajes de larga distancia con el fin de reducir el tamaño de las baterías y así sus costos [18].

Para incentivar la compra de autos eléctricos a pesar de su mayor costo inicial, se ha propuesto otorgar subsidios a los compradores, imponer mayores impuestos a los autos de combustión interna [7], apoyar infraestructura de recarga y otorgar privilegios en su conducción como acceso a autopistas y carriles especiales. La implementación de estas medidas puede ser muy eficaz para acelerar su adopción [19].

Sin embargo, un estudio reciente indica que en Estados Unidos los autos eléctricos se adquieren con frecuencia como vehículos complementarios en hogares con varios autos [20] y además son sustituidos por nuevas unidades en menos de 4 años [21].

Y entonces, ¿hay otras medidas factibles para lograr un transporte sostenible?

Sí, algunas de ellas son el uso compartido del automóvil, el transporte público y la movilidad activa. A continuación, explicaremos brevemente en qué consiste cada una, algunas de sus ventajas y los principales obstáculos que enfrentan.

Medidas factibles para lograr un transporte sostenible

Coche compartido

Una medida para disminuir el número de vehículos en circulación es el coche compartido, que consiste en compartir el automóvil con varias personas que realizan el mismo trayecto. Esta medida ayuda a reducir la necesidad de plazas de estacionamiento, disminuye la contaminación atmosférica y reduce la congestión vehicular, lo cual podría disminuir el tiempo de traslado.

Transporte público

Otra medida es construir un sistema de transporte público sostenible e inclusivo que tome en cuenta factores como el tiempo de viaje, la seguridad, la limpieza, la comodidad, el equipamiento de los vehículos y estaciones, horarios extendidos de operación (preferentemente 24 horas) y accesibilidad para todos los usuarios. Una sola unidad de transporte público puede sustituir un gran número de automóviles individuales (por ejemplo, un metrobús puede

sustituir más de 100 automóviles), reduciendo así congestión y emisiones, con costos reducidos para los usuarios.

Movilidad activa

La movilidad activa consiste en trasladarse realizando actividad física; por ejemplo, caminar o usar bicicleta, patines o scooter (Figura 3).



Figura 3. Ejemplos de movilidad actividad.

Esto permite moverse de forma respetuosa con el ambiente, ya que no genera ruido ni emisiones contaminantes; adicionalmente, tiene beneficios económicos y para la salud. Se ha comprobado que la movilidad activa se asocia con menor probabilidad de padecer sobrepeso, diabetes e hipertensión en comparación con quienes usan auto privado [22]. También da acceso a la movilidad a grupos de la población sin auto privado, por lo que promueve inclusión social. Por todo lo anterior, puede considerarse el modo de transporte más sostenible en las ciudades [23].

Sin embargo, la movilidad activa implica una mayor exposición a contaminantes atmosféricos; aunado a esto, la infraestructura mal diseñada (Figuras 4 y 5) y la conducción peligrosa de automovilistas desalientan los desplazamientos a pie y en bicicleta [22].

Tanto el transporte público como la movilidad activa requieren diseño y mantenimiento de infraestructura adecuada para peatones, ciclistas y pasajeros. Por ejemplo, calles peatonales, banquetas anchas y libres de obstáculos; carriles seguros para bicicleta y lugares de aparcamiento; unidades de transporte limpias, seguras y cómodas. Esta infraestructura debe garantizar accesibilidad a todo tipo de usuarios, incluidos adultos mayores, jóvenes, niños y personas con discapacidad; es decir, debe garantizar la seguridad de los “usuarios vulnerables en las vías públicas”. Su adopción no es tan rápida como se esperaría, ya que existe una preferencia marcada por el uso de auto privado, incluso si en las ciudades la tendencia es conducir menos de 100 km al día [24].



Figura 4. Banqueta mal diseñada debido a que es demasiado estrecha y tiene obstáculos para los peatones.



Figura 5. Ejemplo de una ciclovía peligrosa debido a que no hay división física para los automóviles [25].

En la Tabla 1 se muestran las emisiones de dióxido de carbono y la energía necesaria para trasladarse 1 km; también se muestra la ocupación promedio del medio de transporte. Se observa que si bien los vehículos eléctricos tienen menores emisiones y consumo de energía, no son comparables con el transporte público, especialmente con el metro. Por otro lado, las alternativas más amigables con el ambiente son la bicicleta y la caminata; es decir, la movilidad activa.

Tabla 1. Comparativa de emisiones, energía y cantidad de usuarios por tipo de transporte (elaboración propia con información de las fuentes citadas).

Tipo	Emisiones (gCO ₂ e/km)	Energía (MJ/km)	Ocupación (personas)
Automóvil	150 - 220	0.7 - 1.3	1.4 - 1.6
Automóvil eléctrico	60 - 120	0.7 - 1.3	1.4 - 1.6
Autobús	60 - 100	0.2 - 0.5	25 - 40
Metro	15 - 50	0.1 - 0.2	+100
Bicicleta	0	0	1
Caminata	0	0	1

Conclusiones

¿La adopción de autos eléctricos ayudará a construir un sistema de transporte sostenible?

La respuesta es no. Los autos eléctricos, por sí solos, no son la respuesta para alcanzar un transporte sostenible. Es incuestionable que contribuyen de manera importante si se acompañan con la producción de electricidad a partir de energías limpias y políticas públicas que prioricen el transporte público y la movilidad activa. La electrificación reduce emisiones de ciclo de vida frente a los vehículos de combustión interna, pero no es suficiente para un sistema urbano sostenible sin la debida planificación que la complemente con electricidad “verde” [26].

¿Hay otras medidas factibles para lograr un transporte sostenible?

La respuesta es sí. Otras medidas son el transporte público y la movilidad activa.

Un entorno “tóxico” puede ir más allá de la contaminación e incluir discriminación y privilegios para unos cuantos; una ciudad sin banquetas adecuadas, comunidades cerradas e inseguridad privilegia el uso del automóvil, con lo que la gente más rica tiene más derechos [27]. Por desgracia, la transición de autos de combustión interna a autos eléctricos parece incrementar este ambiente “tóxico”.

Además, la adopción masiva de autos eléctricos no contribuirá a disminuir la contaminación atmosférica a menos que se sustituyan fuentes fósiles por energías limpias; esto sin mencionar la enorme cantidad de materia prima que se requiere para fabricar baterías mediante minería, una actividad altamente contaminante. También se requiere gran inversión en infraestructura de recarga y posibles carreteras eléctricas; dicha inversión podría utilizarse para promover medios de transporte más accesibles y sostenibles.

Para alcanzar un sistema de transporte sostenible se debe promover e invertir en infraestructura para transporte público y movilidad activa, teniendo en cuenta el bienestar de la población como principal objetivo. Esto reducirá la propiedad y uso del auto privado al mismo tiempo que disminuirán las desigualdades, con beneficios en salud pública y calidad de vida. Por lo tanto, el transporte público y la movilidad activa deberían ser la piedra angular de las estrategias para disminuir la contaminación acústica, la contaminación del aire y la congestión del tráfico vehicular.

Referencias

- [1] E.-M. Vătămănescu, L. Nicolescu, P. Gazzola, y S. Amelio, "Integrating smart mobility and electric car sharing adoption in a common framework: Antecedents and mediators," *Journal of Cleaner Production*, vol. 418, p. 138254, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138254>
- [2] H. Ritchie y V. Rosado, "Fossil fuels," *Our World in Data*, 2017. Disponible en: <https://ourworldindata.org/fossil-fuels>
- [3] P. Friedlingstein et al., "Global Carbon Budget 2023," *Earth System Science Data*, vol. 15, pp. 5301–5369, 2023. doi: <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>
- [4] Secretaría de Energía (SENER), "Balance Nacional de Energía 2022," 2023. Disponible en: <https://base.energia.gob.mx/BNE/BalanceNacionalDeEnerg%C3%ADa2022.pdf>
- [5] C. Brand et al., "The climate change mitigation impacts of active travel: Evidence from a longitudinal panel study in seven European cities," *Global Environmental Change*, vol. 67, p. 102224, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102224>
- [6] International Transport Forum (ITF), "ITF Transport Outlook 2023," OECD Publishing, Paris, 2023. doi: <https://doi.org/10.1787/b6cc9ad5-en>
- [7] F. Asgarian, S. R. Hejazi, y H. Khosroshahi, "Investigating the impact of government policies to develop sustainable transportation and promote electric cars...," *Applied Energy*, vol. 347, p. 121434, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121434>
- [8] I. A. Nienhueser y Y. Qiu, "Economic and environmental impacts of providing renewable energy for electric vehicle charging," *Applied Energy*, vol. 180, pp. 256–268, 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.121>
- [9] Y. Nie, M. Ghamami, A. Zockaie, y F. Xiao, "Optimization of incentive policies for plug-in electric vehicles," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 84, pp. 103–123, 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.12.011>
- [10] J. Axsen y B. Sovacool, "The roles of users in electric, shared and automated mobility transitions," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 71, pp. 1–21, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.02.012>
- [11] B. Shirizadeh y P. Quirion, "Long-term optimization of the hydrogen-electricity nexus," *Energy Policy*, vol. 181, p. 113702, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113702>
- [12] G. Cerruti, M. Chiola, V. Bianco, y F. Scarpa, "Impact of electric cars deployment on the Italian energy system," *Energy and Climate Change*, vol. 4, p. 100095, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egycc.2023.100095>
- [13] SENER, "Balance Nacional de Energía 2022," 2023. Disponible en: <https://base.energia.gob.mx/BNE/BalanceNacionalDeEnerg%C3%ADa2022.pdf>
- [14] M. K. Hidrue, G. R. Parsons, W. Kempton, y M. P. Gardner, "Willingness to pay for electric vehicles and their attributes," *Resource and Energy Economics*, vol. 33, pp. 686–705, 2011. doi: <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2011.02.002>
- [15] S. Bellocchi et al., "Positive interactions between electric vehicles and renewable energy sources...," *Energy*, vol. 161, pp. 172–182, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.068>
- [16] Institute for Energy Research (IER), "EV Battery Factory in Kansas to be Powered by Coal...," 2023. Disponible en: <https://www.instituteforenergyresearch.org/fossil-fuels/coal/ev-battery-factory-in-kansas-to-be-powered-by-coal-at-least-temporarily/>
- [17] D. Connolly, "Economic viability of electric roads compared to oil and batteries," *Energy Strategy Reviews*, vol. 18, pp. 235–249, 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.09.005>
- [18] N. Wang, L. Tang, W. Zhang, y J. Guo, "How to face the challenges caused by the abolishment of subsidies for electric vehicles in China?," *Energy*, vol. 166, pp. 359–372, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.006>
- [19] J. Squalli, "Greening the roads: Assessing the role of electric and hybrid vehicles in curbing CO2 emissions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 434, p. 139908, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139908>
- [20] N. Parekh y T. Campau, "Average Age of Light Vehicles in the US Hits Record High...," S&P Global Mobility, 2023. Disponible en: <https://www.spglobal.com/mobility/en/research-analysis/average-age-of-light-vehicles-in-the-us-hits-record-high.html>
- [21] L. Sagaris y I. Tiznado-Aitken, "New horizons for sustainable transport planning," *Journal of Transport & Health*, vol. 28, p. 101544, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jjth.2022.101544>
- [22] N. Giuffrida, A. Molter, F. Pilla, y P. Carroll, "Feasibility of a simplified index to improve active mobility infrastructure," *Transportation Research Procedia*, vol. 72, pp. 2309–2316, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.721>
- [23] E. De Troya, "Ciclovía emergente sobre Insurgentes," *Fotografía, Flickr*, 2020. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/eneas/49961760992/>
- [24] IPCC, *Climate Change 2022: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, 2022. doi: <https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- [25] D. Byrne, *Diarios de bicicleta*. Sexto Piso, 2011.



¿Litio o Zinc? La batalla por el futuro de las baterías para el transporte eléctrico



Mtro. Jorge Alejandro Arredondo Espínola*

Dr. Walter Noé Velázquez Arjona

Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C.

jorge.arredondo@cimav.edu.mx

Resumen

Las baterías de zinc-aire se perfilan como una alternativa prometedora a las baterías de litio que hoy dominan celulares y vehículos eléctricos. Ofrecen alta densidad energética (pueden almacenar mucha energía en poco espacio), buena seguridad, baja toxicidad y menor costo, lo que las hace atractivas para dispositivos móviles y para la electromovilidad, es decir, el uso de vehículos impulsados por electricidad. Sin embargo, al necesitar oxígeno del ambiente para funcionar, surgen dudas sobre su desempeño en lugares con poco oxígeno y en condiciones de frío o calor extremos. En este artículo se compara el potencial de estas baterías de zinc-aire, consideradas una tecnología emergente, con los sistemas de ion-litio ya optimizados, a partir de resultados obtenidos por el grupo de investigación Nanomat-Lab. Además, se analizan retos ambientales, sociales y económicos, como el impacto de la extracción de materiales o las condiciones de trabajo en las minas, y se discuten posibles soluciones que podrían hacer de estas baterías una opción más justa y sustentable para el futuro del transporte eléctrico.

La era del litio y sus límites

El avance tecnológico en los dispositivos electrónicos inteligentes ha traído como resultado un aumento en la demanda de sistemas de almacenamiento de energía, con una proyección de incre-

mento del 40 % anual a partir de 2025 [1]. El litio se caracteriza por ser un material que permite obtener una alta capacidad de almacenamiento energético; esta es la principal razón por la que los sistemas de

ion-litio han cobrado gran relevancia desde su invención. En 2019 se reconoció a John B. Goodenough, Akira Yoshino y M. Stanley Whittingham con el Premio Nobel de Química por la creación de las baterías de iones de litio, lo que remarca la importancia de esta tecnología.

Sin embargo, entre más inteligente, autónomo y con mayor número de aplicaciones sea un dispositivo electrónico, un vehículo eléctrico o una tecnología portátil (celulares, laptops, relojes, etc.), más energía requerirá para su funcionamiento. Esa demanda ya supera las capacidades actuales de almacenamiento de las baterías de iones de litio, lo que plantea nuevos retos y obliga a buscar alternativas para abastecer las necesidades energéticas. Además, estas nuevas alternativas no solo deben ofrecer una mayor capacidad de almacenamiento, sino también cumplir criterios medioambientales: ser menos contaminantes que la tecnología actual, facilitar el reciclaje al no contener elementos altamente tóxicos, reducir la huella de carbono de su producción y garantizar cadenas de suministro que no se basen en la sobreexplotación laboral ni en zonas de conflicto por recursos, entre otros aspectos.

Nuevas tecnologías de almacenamiento

Existen diversas alternativas a la tecnología actual de baterías recargables de iones de litio. Una de ellas consiste en seguir utilizando litio, pero en sistemas prometedores como las baterías litio-azufre (Li-S) o litio-aire (Li-aire). Otra vía son las tecnologías recargables libres de litio. En este último grupo se encuentran las baterías metal-aire, como las de aluminio-aire, magnesio-aire y zinc-aire (ZABs, por sus siglas en inglés, zinc-air batteries). Estas se caracterizan por ser más económicas que los sistemas de litio, ser recargables y ofrecer una capacidad de almacenamiento energético hasta cinco veces mayor que las baterías de ion-litio (Figura 1) [2].

En la Figura 1 se muestra una representación de un sistema de almacenamiento muy desarrollado (ion-litio), comparado con un sistema emergente

(ZABs). Se resaltan los diseños y el mecanismo de funcionamiento de ambos sistemas. Dado que los dispositivos tecnológicos actuales han sido diseñados alrededor de las baterías de iones de litio, la aplicación de las ZABs en dispositivos portátiles requiere un rediseño. En cambio, en sistemas estacionarios que necesitan grandes cantidades de energía no es necesario modificar tanto la tecnología, por lo que el respaldo de energía para casas, módulos de almacenamiento de vehículos eléctricos terrestres, aéreos y acuáticos [3] es uno de los usos más prometedores.

Las mejoras en capacidad de almacenamiento que presentan las ZABs frente a los sistemas de iones de litio se deben principalmente a que emplean reacciones del oxígeno para oxidar el zinc. Por ello se consideran sistemas con un “cátodo infinito”: mientras haya oxígeno disponible en el ambiente, estas baterías funcionarán hasta oxidar todo el zinc presente en el sistema.

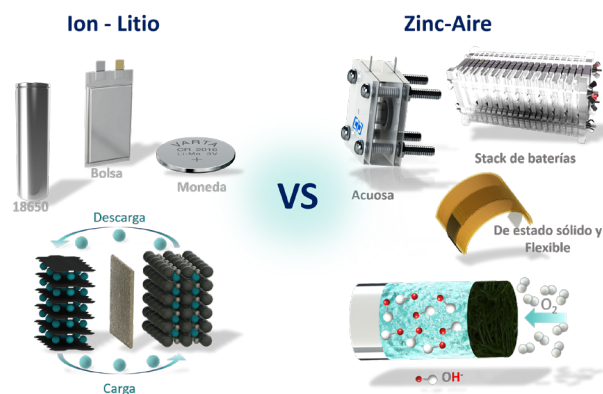


Figura 1. Esquema representativo de diferentes sistemas de almacenamiento energético con potencial para la electromovilidad. Baterías con alto grado de desarrollo (ion-litio) frente a baterías emergentes ecoamigables (zinc-aire).

Impacto ambiental y seguridad del litio y del zinc

Otro aspecto clave para la aplicación y masificación de estas tecnologías es la seguridad, el impacto ambiental y la disposición de residuos al término de su vida útil. Para la extracción de litio se requieren alrededor de 2000 toneladas de agua por cada tonelada de materia prima extraída (Li₂CO₃) [4]. Por otro lado, debido a la baja estabilidad de las baterías

de litio en presencia de humedad, este metal puede reaccionar violentamente, incluso provocar explosiones, y su reciclaje en Estados Unidos se limita a solo 2–5 % [5].

Las ZABs se consideran una tecnología más sustentable y amigable con el ambiente que el litio. Existen métodos de extracción de zinc mediante “minería verde” que gestionan de forma integral el uso de materiales, agua y energía. Además, las ZABs son sistemas seguros que permiten reciclar el zinc empleado para su uso en la industria agrícola, médica, siderúrgica, química y del caucho [6]. Actualmente, alrededor del 35 % del zinc producido proviene del reciclaje. Puede parecer un porcentaje relativamente bajo; sin embargo, esto no se debe a un desinterés en su recuperación, sino a la larga vida útil de muchos productos que contienen zinc [7].

El reto de la electromovilidad

En México y en el mundo, el desarrollo de vehículos eléctricos ha cobrado gran relevancia en los últimos años. No obstante, el kilometraje limitado (autonomías de 400 a 600 km) y los relativamente largos tiempos de carga siguen siendo un reto. Un vehículo eléctrico promedio contiene paquetes de alrededor de 8256 baterías de iones de litio tipo 18650 [8]. Esto hace que siga siendo un desafío desarrollar vehículos más autónomos, con cargas más rápidas, capaces de sustituir por completo a los vehículos de combustión interna (gasolina, diésel o gas).

Entre los avances para superar estos retos hay investigaciones centradas en mejorar la recargabilidad de las baterías, logrando tiempos de vida de hasta 3000 ciclos, equivalentes a unos 8.19 años de uso si se asume que el vehículo se carga una vez al día y en condiciones normales (sin considerar la carga rápida). Otras líneas de trabajo buscan baterías más eficientes que reduzcan el peso y el espacio ocupado por las cubiertas, dejando más volumen para el material activo que almacena la energía. Uno de los mejores sistemas de ion-litio aplicados en vehículos eléctricos es la batería 4680, que presenta una capacidad de almacenamiento energético de 5 mA h cm⁻² [9].

Zinc-aire, más energía en menos espacio

Algunas ZABs desarrolladas por el equipo de trabajo Nanomat-Lab (grupo interinstitucional integrado por investigadoras e investigadores de los centros SECIHTI del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, como el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV, y el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, CIDETEQ, así como de la Universidad Autónoma de Querétaro) alcanzan capacidades de almacenamiento de 24 mA h cm⁻² (Figura 2). Mediante modificaciones en el diseño de los electrodos es posible llegar al menos a 625 mA h cm⁻², según algunos fabricantes [10]. Esto supone un aumento de hasta 125 veces en la autonomía respecto a los mejores sistemas de litio, al utilizar ZABs parcialmente optimizadas.

En la **Figura 2** se muestra el módulo de almacenamiento energético de un vehículo eléctrico basado en baterías de ion-litio. Al reemplazarlo por ZABs, este módulo podría reducirse en tamaño y peso, lo que optimiza la eficiencia y la potencia del vehículo, o bien mantener el mismo volumen para obtener tiempos de autonomía mucho mayores.

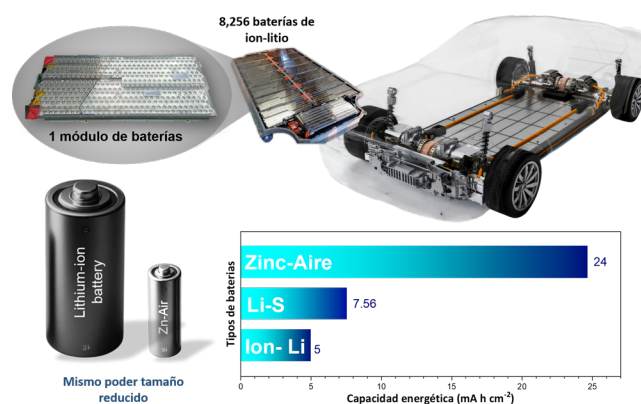


Figura 2. Módulo de almacenamiento energético de vehículos eléctricos y comparativa de la energía almacenada en baterías de litio frente a baterías de zinc-aire.

Capacidad y voltaje en las baterías

No obstante, la capacidad energética no es el único factor que determina la viabilidad de estos

sistemas; también es importante considerar el voltaje de las baterías. La capacidad de almacenamiento energético indica cuántas cargas (electrones, en este caso) pueden transferirse en un tiempo determinado, mientras que el voltaje es la “fuerza” con la que esas cargas se mueven.

Podemos imaginarlo con una manguera de agua: las cargas serían la cantidad de agua que pasa por la manguera y el voltaje sería la presión con la que sale. Hay aplicaciones que requieren alta presión y poca agua (como el lavado de objetos) y otras que necesitan baja presión pero gran flujo (como el llenado de un recipiente).

El voltaje de operación de los sistemas de ion-litio es de aproximadamente 3 V, mientras que el de las ZABs es de solo 1.4 V. Esto plantea desafíos para los sistemas de almacenamiento enfocados a la movilidad eléctrica, donde se requieren alrededor de 400 V para vehículos comunes y hasta 800 V para vehículos de alta potencia [11].

Una alternativa es conectar las baterías en serie, de modo que se suma el voltaje de cada celda individual. Para lograr 400 V en un vehículo eléctrico de uso común se necesitarían configuraciones de alrededor de 134 baterías de ion-litio o 286 ZABs. Aunque las ZABs requieren un poco más del doble de celdas para alcanzar los 400 V, la capacidad específica sería unas 63 veces mayor, lo que evidencia la viabilidad de las ZABs para su aplicación en el transporte eléctrico.

Diseño y operación de las ZABs en condiciones extremas

A diferencia de las baterías de iones de litio, las ZABs requieren un flujo constante de oxígeno para oxidar el zinc metálico y generar energía eléctrica. Además, deben mantenerse en rangos de temperatura adecuados para evitar la evaporación o la congelación del agua contenida en el electrolito (el medio líquido o gel que conduce los iones dentro de la batería). Estas condiciones representan desafíos para su uso en entornos adversos.

Sin embargo, un diseño adecuado de la batería permite incluso sumergir el sistema durante largos periodos sin comprometer su funcionamiento, a

pesar de la baja concentración de oxígeno disuelto en el agua. Las modificaciones en el electrolito, como el uso de geles poliméricos superadsorbentes, aumentan la eficiencia de la ZAB, reducen la evaporación del electrolito y evitan su congelación. Estos geles son una alternativa prometedora para ampliar el rango de temperatura de operación desde $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 3) [12].

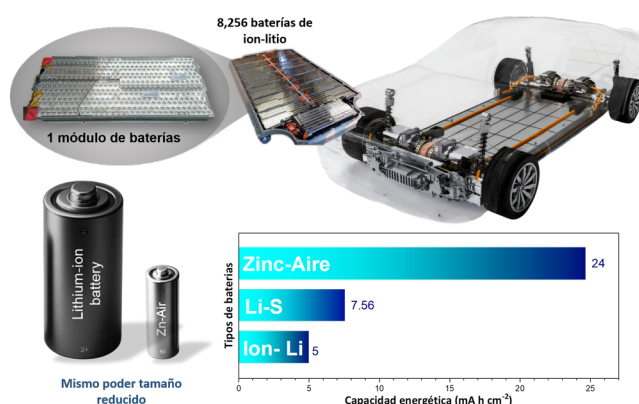


Figura 3. Principales características de las baterías de zinc-aire que favorecen su uso práctico en la electromovilidad.

Materiales más responsables, del cobalto al nopal

A pesar de todas las mejoras mencionadas, las ZABs todavía enfrentan algunas problemáticas que deben resolverse para su aplicación masiva. Una de ellas está relacionada con el desarrollo de materiales capaces de llevar a cabo las reacciones del oxígeno. A estos materiales se les conoce comúnmente como electrocatalizadores, y deben ser muy estables, económicos, ecoamigables y socialmente responsables.

Durante mucho tiempo, el cobalto se ha utilizado en sistemas de almacenamiento de energía porque ofrece un buen desempeño tanto en baterías de ion-litio como en ZABs. Sin embargo, su extracción representa una problemática social y ambiental. Las mayores reservas de este metal se encuentran en África, donde se han documentado sobreexplotación laboral, trabajos forzados, explotación infantil, desplazamiento de comunidades indígenas, uso intensivo de agua y contaminación del entorno [13].

Mientras que las baterías de litio pueden incorporar hasta un 20 % en peso de cobalto [14], las ZABs pueden funcionar sin este metal e incluso

alcanzar mejor desempeño al emplear electrocatalizadores a base de níquel-hierro [15] o de carbón (que puede provenir de fuentes naturales o de materiales de desecho).

Otra problemática se relaciona con el desarrollo de geles poliméricos, también llamados electrolitos de estado cuasi sólido (QSE, por sus siglas en inglés, quasi-solid-state electrolytes). En muchos casos estos geles se elaboran a partir de polímeros poco degradables y económicamente poco viables. Por ello, algunas investigaciones se centran en QSE biodegradables elaborados con biopolímeros, con la intención de igualar el rendimiento de los polímeros sintéticos.

Pese a estos esfuerzos, pocos QSE presentan propiedades adecuadas para ser aplicados en ZABs, ya que suelen ser inestables en medios corrosivos, absorber poca cantidad de electrolito, romperse con facilidad o requerir grandes cantidades de materia prima para obtener volúmenes aceptables de polímero.

En este contexto, el mucílago —un biopolímero presente en la “baba” del nopal— tiene el potencial de emplearse como QSE e incluso superar el desempeño de algunos sistemas sintéticos. Esto no solo reduce el impacto ambiental de las ZABs, sino que también representa una oportunidad para México, el mayor productor de nopal en el mundo, al ampliar las aplicaciones de este cultivo. Según un informe de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) de 2018, solo el 46.4 % de los nopales cultivados en México se aprovecha, debido a la sobreproducción [16].

Conclusiones

Las ZABs son una alternativa sustentable e innovadora que permite mejorar los sistemas de almacenamiento energético, minimizando los costos de producción y el impacto ambiental en comparación con los sistemas de ion-litio. Estas características las convierten en uno de los principales prospectos para sustituir al litio en los sistemas de almacenamiento de energía destinados a la electromovilidad.

Referencias

- [1] A. Razmjoo et al., “Moving Toward the Expansion of Energy Storage Systems in Renewable Energy Systems—A Techno-Institutional Investigation with Artificial Intelligence Consideration,” *Sustainability*, vol. 16, no. 22, p. 9926, Nov. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/SU16229926>.
- [2] Y. Li and H. Dai, “Recent advances in zinc–air batteries,” *Chem. Soc. Rev.*, vol. 43, no. 15, pp. 5257–5275, Jul. 2014, doi: <https://doi.org/10.1039/C4CS00015C>.
- [3] “Zinc-Air Batteries Will Extend Mission Times Of NASA Micro Aerial Vehicles.” Accessed: Apr. 22, 2025. [Online]. Available: <https://phys.org/news/2005-06-zinc-air-batteries-mission-nasa-micro.html>
- [4] W. F. Díaz Paz et al., “The water footprint of lithium extraction technologies: Insights from environmental impact reports in Argentina’s salt flats,” *Heliyon*, vol. 11, no. 4, p. e42523, Feb. 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42523>.
- [5] Z. Dobó, T. Dinh, and T. Kulcsár, “A review on recycling of spent lithium-ion batteries,” *Energy Reports*, vol. 9, pp. 6362–6395, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.05.264>.
- [6] M. Anik Hasan, R. Hossain, and V. Sahajwalla, “Critical metals (Lithium and Zinc) recovery from battery waste, ores, brine, and steel dust: A review,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 178, pp. 976–994, Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.08.069>.
- [7] M. Kaya, S. Hussaini, and S. Kursunoglu, “Critical review on secondary zinc resources and their recycling technologies,” *Hydrometallurgy*, vol. 195, p. 105362, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105362>.
- [8] P. N. Halimah, S. Rahardian, and B. A. Budiman, “Battery Cells for Electric Vehicles,” *International Journal of Sustainable Transportation Technology (IJSTT)*, vol. 2, no. 2, pp. 54–57, Oct. 2019, doi: <https://doi.org/10.31427/IJSTT.2019.2.2.3>.
- [9] M. Ank et al., “Lithium-Ion Cells in Automotive Applications: Tesla 4680 Cylindrical Cell Teardown and Characterization,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 170, no. 12, p. 120536, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ad14d0>.
- [10] “Global Product Technical Data Sheets - Duracell Batteries | AA, AAA, Rechargeable, Coin Button.” Accessed: Apr. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.duracell.com/en-us/techlibrary/product-technical-data-sheets/>
- [11] “Voltaje de la batería de un coche eléctrico | Volkswagen España.” Accessed: Apr. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.volkswagen.es/es/revista/innovacion/voltaje-bateria-coche-electrico.html>
- [12] P. Zhang et al., “A self-designed double cross-linked gel for flexible zinc-air battery with extreme conditions adaptability,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 451, p. 138622, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138622>.
- [13] “African leaders call for equity over minerals used for clean energy | Environment | The Guardian.” Accessed: Apr. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/environment/2024/feb/28/african-leaders-call-for-equity-over-minerals-used-for-clean-energy>
- [14] C. Peng, F. Liu, A. T. Aji, B. P. Wilson, and M. Lundström, “Extraction of Li and Co from industrially produced Li-ion battery waste – Using the reductive power of waste itself,” *Waste Management*, vol. 95, pp. 604–611, Jul. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.048>.

- [15] O. Ambriz-Peláez, J. Béjar, C. M. Ramos-Castillo, M. Guerra-Balcázar, L. Álvarez-Contreras, and N. Arjona, "Defected NiFe layered double hydroxides on N-doped carbon nanotubes as efficient bifunctional electrocatalyst for rechargeable zinc-air batteries," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 601, p. 154253, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apusc.2022.154253>.
- [16] M. M. López Flores y J. M. Omaña Silvestre, "Modelo de desarrollo para el aprovechamiento de nopal verdura en Milpa Alta, Ciudad de México," *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, vol. 20, no. 4, pp. 408–424, 2023, doi: <https://doi.org/10.22231/asyd>.



Virus: ¿héroes o villanos?

Lic. Lizbeth Vazquez

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

al240564@alumnos.uacj.mx

Resumen

Los virus son las entidades biológicas más abundantes del planeta y, aunque muchos son conocidos por provocar enfermedades graves, la mayoría no representa un riesgo para nuestra salud. En las últimas décadas, la investigación ha demostrado que no son únicamente agentes patógenos: algunos virus cumplen funciones esenciales en los ecosistemas y otros pueden emplearse como herramientas científicas, por ejemplo, en biotecnología o medicina. Estos avances han permitido entender mejor cómo interactúan con los seres vivos y cómo pueden aprovecharse para combatir bacterias, desarrollar nuevas terapias o mejorar procesos ambientales. Este artículo invita a descubrir el lado menos conocido de los virus y a reconsiderar su papel en la ciencia y en nuestra vida cotidiana.

Introducción

Los virus se consideran agentes infecciosos capaces de invadir todo tipo de células, por lo que suelen asociarse con enfermedades en humanos, animales, plantas y bacterias. Para la especie humana representan un peligro latente, pues han causado pandemias a lo largo de la historia, como la influenza, el ébola, el VIH y, más recientemente, la covid-19, responsable de más

de 6.3 millones de muertes a nivel mundial [1]. Estas infecciones pueden dañar tejidos, debilitar el sistema inmunológico y generar consecuencias fatales.

Como respuesta, se han desarrollado diversas estrategias para minimizar su impacto, como la creación de vacunas, antivirales y tecnologías de

diagnóstico rápido. También se ha promovido la vigilancia epidemiológica, la educación en salud pública y la investigación continua para anticipar nuevas amenazas virales y diseñar respuestas más eficaces [2].

Sin embargo, desde 1915, gracias a los científicos William Twort y Felix d'Herelle, sabemos que no todos los virus son dañinos para los seres humanos. Existen virus capaces de infectar solo a otros organismos [3]. Dentro de ellos se encuentra una clasificación especializada en atacar exclusivamente a bacterias. Estos virus, llamados bacteriófagos o simplemente fagos, son reconocidos por sus propiedades antibacterianas y por ser importantes reguladores ambientales. Además, su alta especificidad para identificar y atacar bacterias los ha convertido en herramientas valiosas para enfrentar diversas problemáticas asociadas a infecciones bacterianas [4][5].

Estructuralmente, los fagos son partículas microscópicas compuestas por material genético (ADN o ARN) resguardado en su cabeza para evitar daños. Esta estructura permite que el material genético viaje a través del cuello hasta la cola, que es la encargada de unirse a la bacteria, introducirse en ella y depositarlo para iniciar la infección [6].

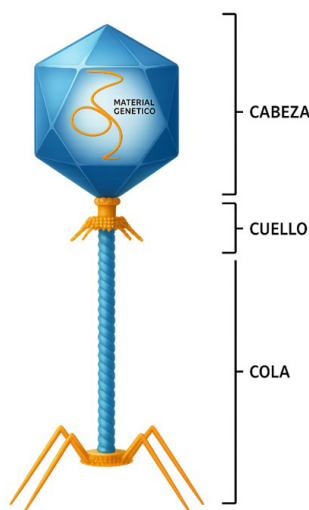


Figura 1. Representación esquemática de la estructura funcional de un fago (Elaboración propia).

La estructura de la Figura 2 ejemplifica de manera cíclica el mecanismo de replicación de los fagos y muestra cómo funcionan como estrategia antibacteriana. Cuando un fago se une a una bacteria e introduce su material genético, secuestra la maquinaria celular e impide que la bacteria se reproduzca. En cambio, esta maquinaria se utiliza para formar nuevas partículas virales, que se ensamblan dentro de la célula. Una vez maduras, las nuevas partículas se liberan, lo que provoca la destrucción de la bacteria (ciclo lítico). Los nuevos bacteriófagos pueden entonces infectar a otras bacterias [7].

Sin embargo, este no es el único modo de reproducción. Los fagos también pueden integrar su ADN al material genético de la bacteria (ciclo lisogénico), replicándose cada vez que la bacteria se divide. En condiciones de estrés —como calor, frío o luz ultravioleta— el ADN del fago se separa del de la bacteria y toma el control para producir nuevos virus, lisando la célula solo cuando es conveniente. Aunque ambos ciclos concluyen con la muerte de la bacteria, existen diferencias importantes según el tipo de fago [8].

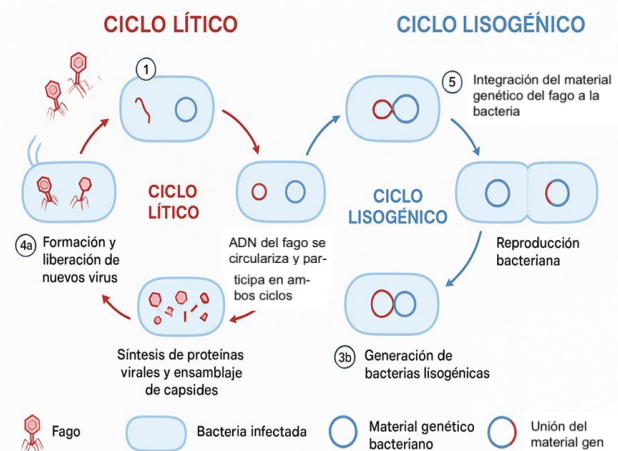


Figura 2. Ciclos de replicación de los bacteriófagos al infectar células bacterianas.

Comprender la forma en que los fagos se replican nos permite aprovechar mejor sus características y aplicarlas en distintas áreas de la ciencia.

Aplicaciones de los fagos

Al igual que los virus, las bacterias patógenas representan una seria amenaza para la salud pública. De acuerdo con un informe del Grupo de Coordinación Interinstitucional sobre la Resistencia a los Antimicrobianos (IACG), respaldado por la OMS, se estima que, si no se implementan medidas efectivas, para 2050 las infecciones bacterianas resistentes podrían causar hasta 10 millones de muertes anuales, superando incluso la mortalidad actual por cáncer [9].

La resistencia bacteriana también afecta sectores como la agricultura y la alimentación (Figura 3), generando impactos económicos alrededor del mundo. Frente a este panorama, la ciencia ha buscado nuevas estrategias antibacterianas con menos efectos secundarios que los compuestos convencionales. Los fagos han adquirido protagonismo como alternativa, al ofrecer terapias sostenibles y económicamente viables [10].



Figura 3. Áreas donde los fagos han sido implementados como una alternativa antibacteriana.

Uso de fagos en la medicina

En el campo de la salud, el uso incorrecto de antibióticos ha favorecido la aparición de bacterias capaces de sobrevivir a estos medicamentos. Ante este desafío, los científicos han buscado una amplia variedad de fagos capaces de infectar bacterias

patógenas para los humanos, permitiendo su aplicación como terapia antibacteriana, conocida como fagoterapia [8].

En diversas partes del mundo se han realizado ensayos clínicos para tratar enfermedades causadas por bacterias multirresistentes catalogadas por la OMS (2024) como prioritarias para atención pública. Los resultados preliminares muestran avances favorables a corto y mediano plazo. En la Tabla I se presentan ejemplos de infecciones tratadas con fagos en ensayos clínicos.

Los resultados han sido especialmente positivos en bacterias patógenas comunes que representan un riesgo constante para la población. La investigación actual se centra en los cócteles de fagos, mezclas diseñadas para atacar diferentes aspectos de la infección bacteriana, lo que acelera la recuperación y disminuye el riesgo de resistencia a antibióticos [11].

Uso de fagos en la agricultura

Las hortalizas frescas —especialmente la lechuga— han sido identificadas como una fuente frecuente de contaminación por la bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*). Aunque no todas sus variantes son mortales, algunas pueden causar enfermedades graves, y los casos han aumentado en los últimos años. Las medidas de desinfección tradicionales no siempre son completamente eficaces. Una alternativa es el desarrollo de cócteles de fagos capaces de atacar diversas variantes de *E. coli*, logrando una desinfección más efectiva y segura [12].

El uso de fagos en cultivos ayuda a evitar el desequilibrio que los antibióticos pueden causar en las bacterias presentes en el suelo, esenciales para mantener su fertilidad. La identificación de fagos adecuados se ha perfeccionado gracias a estudios genómicos, que permiten seleccionar aquellos con alta capacidad lítica y eficiente reproducción [13].

Las investigaciones enfocadas en fagos específicos contra *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Pectobacterium*, *Ralstonia*, *Clavibacter michiganensis* y *Agrobacterium tumefaciens*,

patógenos que afectan cultivos de gran relevancia económica, han mostrado resultados prometedores. Sin embargo, la búsqueda de nuevas estrategias continúa [14].

Tabla 1. Aplicación de la fagoterapia en distintos ensayos clínicos [11].

Tratamiento	Tipo de terapia	Condición	Enfermedad / Aplicación clínica
Cóctel de fagos dirigido contra <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Local (otológico)	Infección por <i>P. aeruginosa</i> multirresistente	Otitis crónica refractaria a antibióticos
Aplicación tópica de fagos	Local (cutánea)	Infección por <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a metilina (MRSA)	Úlceras del pie diabético, heridas crónicas
Cóctel de fagos de amplio espectro	Local (cutánea)	Infecciones mixtas por <i>Escherichia coli</i> y <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Infecciones asociadas a quemaduras
Cóctel de 10 fagos inhalados	Inhalatoria	Colonización crónica por <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Fibrosis quística con exacerbaciones respiratorias
Administración oral de fagos para modular la microbiota intestinal	Oral (digestiva)	Sobrecrecimiento de <i>Enterobacteriaceae</i> multirresistentes	Disbiosis intestinal, infecciones gastrointestinales recurrentes

Conclusiones

Actualmente sabemos que los virus no pueden clasificarse de manera absoluta como villanos, aunque su papel como agentes infecciosos en células humanas es innegable. Sin embargo, también es difícil considerarlos héroes. Su verdadera naturaleza se encuentra en estudio desde múltiples áreas científicas, ampliando nuestro entendimiento sobre cómo deben valorarse. Los fagos, en particular, muestran un vasto potencial como herramientas biotecnológicas para combatir bacterias patógenas, lo que abre un amplio camino de investigación y desarrollo.

Referencias

- [1] P. B. Preciado, "Aprendiendo del virus," *El País*, vol. 28, no. 3, 2020. Disponible en: <https://sxpolitics.org/wp-content/uploads/sites/3/2020/04/Sopa-de-Wuhan-ASPO.pdf>
- [2] N. Pardi and D. Weissman, "Development of vaccines and antivirals for combating viral pandemics," *Nature Biomedical Engineering*, vol. 4, no. 12, pp. 1128–1133, 2020. doi: <https://doi.org/10.1038/s41551-020-00658-w>
- [3] G. Bertani, "Lysogenic versus lytic cycle of phage multiplication," *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, vol. 18, pp. 65–70, Jan. 1953. Disponible en: <https://symposium.cshlp.org/content/18/65.short>
- [4] A. L. Delisle and C. A. Rostkowski, "Lytic bacteriophages of *Streptococcus mutans*," *Current Microbiology*, vol. 27, pp. 163–167, 1993. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01576015>
- [5] N. Domínguez-Navarrete, "Bacteriófagos," *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, vol. 20, no. 1, pp. 164–165, 2020. doi: <https://doi.org/10.25176/rfmh.v20i1.2554>

Referencias

- [6] S. A. Strathdee, G. F. Hatfull, V. K. Mutalik, and R. T. Schooley, "Phage therapy: From biological mechanisms to future directions," *Cell*, vol. 186, no. 1, pp. 17–31, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.11.017>
- [7] I. N. Wang, "Lysis timing and bacteriophage fitness," *Genetics*, vol. 172, no. 1, pp. 17–26, 2006. doi: <https://doi.org/10.1534/genetics.105.045922>
- [8] M. R. Clokie, A. D. Millard, A. V. Letarov, and S. Heaphy, "Phages in nature," *Bacteriophage*, vol. 1, no. 1, pp. 31–45, 2011. doi: <https://doi.org/10.4161/bact.1.1.14942>
- [9] Y. Jiang et al., "Analysis of antibacterial drug use and bacterial resistance in psychiatric hospital in the epidemic," *Scientific Reports*, vol. 15, no. 1, p. 4984, 2025. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88260-5>
- [10] M. Behera, S. De, and S. M. Ghorai, "The synergistic and chimeric mechanism of bacteriophage endolysins: opportunities for application in biotherapeutics, food, and health sectors," *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, vol. 17, no. 2, pp. 807–831, 2025. doi: <https://doi.org/10.1007/s12602-024-10394-1>
- [11] J. P. Pirnay, D. De Vos, and G. Verbeken, "Clinical application of bacteriophages in Europe," *Microbiology Australia*, vol. 40, no. 1, pp. 8–15, 2019. doi: <https://doi.org/10.1071/MA19010>
- [12] A. R. Araya-Acosta and V. García, "Isolation and characterization of a cocktail of Escherichia coli phages and its application in food," *Preprints*, 2025. doi: <https://doi.org/10.20944/preprints202503.1314.v1>
- [13] J. L. Villalpando-Aguilar, G. Matos-Pech, I. López-Rosas, H. G. Castelán-Sánchez, and F. Alatorre-Cobos, "Phage therapy for crops: concepts, experimental and bioinformatics approaches to direct its application," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 24, no. 1, p. 325, 2022. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms24010325>
- [14] D. Gollin, "Agricultural productivity and economic growth," *Handbook of Agricultural Economics*, vol. 4, pp. 3825–3866, 2010. doi: [https://doi.org/10.1016/S1574-0072\(09\)04073-0](https://doi.org/10.1016/S1574-0072(09)04073-0)





La calidad: pasado, presente
y futuro

Dr. Gerardo Hernández Chávez*

Dra. Yazmin Hernández Chávez

Dr. Jorge Alberto Sánchez Martínez

Universidad Autónoma de Tlaxcala

gerardo.hernandez@uptlax.edu.mx

Resumen

La calidad ha acompañado al desarrollo humano y empresarial como una forma de asegurar que los productos y servicios cumplan las expectativas de las personas. Este artículo explica, de manera sencilla, cómo la calidad ha evolucionado a lo largo del tiempo hasta convertirse en una disciplina clave en la industria moderna. A través de cinco etapas —desde la inspección inicial hasta la actual integración de tecnología avanzada y enfoque humano— se muestran los conceptos y herramientas que han transformado la forma de producir, mejorar y ofrecer bienes y servicios.

Introducción

La calidad es un elemento fundamental en el comportamiento humano, más o menos desarrollado según las necesidades y circunstancias de cada época. Varios autores han señalado que este concepto ha evolucionado como una herramienta que ha permitido al ser

humano mejorar sus condiciones de vida, ya que contribuye a organizar el trabajo para la producción de bienes y servicios. En este sentido, la calidad ha estado presente desde civilizaciones antiguas, que emplearon métodos para medirla y controlarla, hasta la actualidad, donde se considera una

disciplina moderna con conceptos, herramientas y metodologías propias.

Hoy en día, la calidad ha adquirido un carácter estratégico en los negocios, pues los consumidores valoran cada vez más la calidad de los productos y servicios que adquieren. Esto obliga a las empresas a mejorar continuamente sus procesos para incrementar su competitividad. De esta forma, la calidad se relaciona directamente con la rentabilidad, la productividad y la participación en el mercado, y ha evolucionado hasta convertirse en una filosofía de gestión en constante cambio debido al entorno dinámico del comercio.

Surge entonces la pregunta: ¿cómo ha evolucionado la calidad a través del tiempo? A lo largo de la historia han surgido diferentes etapas que, aunque se desarrollan una tras otra, integran y perfeccionan métodos y prácticas previas. El objetivo de este artículo es presentar de manera sucinta estas etapas de evolución y ofrecer una mirada hacia su futuro cercano.

El inicio de la calidad

En sus orígenes, el ser humano se dedicaba a recolectar alimentos, por lo que no transformaba su entorno y obtenía solo lo que la naturaleza le proporcionaba. Su juicio sobre la calidad era un simple criterio para seleccionar los productos que cumplieran con los requisitos necesarios para su uso. Cuando el ser humano pasó de ser nómada a sedentario, comenzó a manipular materiales para producir bienes, y con el crecimiento de las comunidades, surgió una división de actividades entre artesanos y consumidores. Ambos establecían las especificaciones que debía cumplir un producto,

lo que generaba una relación directa entre productor y cliente.

Sin embargo, el aumento de la demanda superó la capacidad de los artesanos, lo que dio origen a los talleres y a la necesidad de administrar la producción, favoreciendo la especialización de tareas [1].



Figura 1. El inicio de la calidad.

Con la Primera Revolución Industrial (hacia 1750), la demanda creciente de bienes impulsó la industrialización en Inglaterra. Los talleres fueron sustituidos por fábricas, con más trabajadores, maquinaria y equipo. Algunos artesanos se incorporaron a estas nuevas organizaciones como trabajadores o supervisores, y la calidad se gestionaba a través de su experiencia, complementada con inspecciones en las líneas de producción. Así inició el progreso de la calidad en distintas etapas, como se muestra en la Figura 2, donde esta disciplina desarrolló conceptos, enfoques y herramientas para facilitar el control de la calidad en la manufactura de productos y servicios.

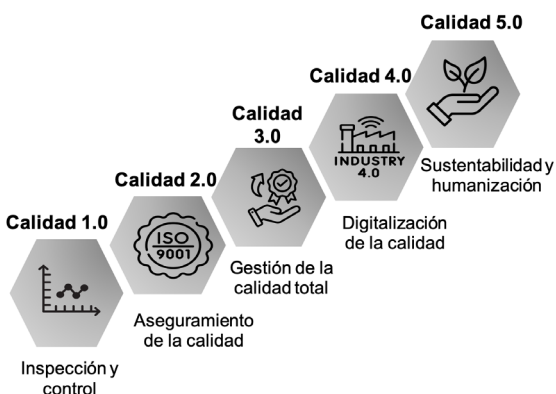


Figura 2. Etapas de la calidad.

Calidad 1.0: inspección y control de calidad

Con la Segunda Revolución Industrial, las formas de producción cambiaron notablemente gracias a nuevas tecnologías y medios de transporte. La calidad avanzó en conceptos y herramientas para controlar la variabilidad en los procesos productivos. En esta etapa destaca el taylorismo, un sistema que promovía la división del trabajo, la planificación de tareas, el establecimiento de estándares y el estudio de tiempos y movimientos. Su enfoque se centraba en la productividad; por ello, la experiencia del artesano dejó de ser el principal medio para garantizar la calidad y la inspección se consolidó como la herramienta principal [1].

A pesar de ello, la producción en masa seguía presentando variabilidad. En 1920, Walter A. Shewhart desarrolló los gráficos de control, una herramienta estadística que permitía monitorear la variabilidad en los procesos. Paralelamente, la inspección del 100% seguía siendo común, pero era costosa y lenta. Para resolverlo, Harold F. Dodge y Harry G. Romig propusieron en la década de 1930 los planes de muestreo de aceptación, que permitían evaluar lotes sin revisar todos los productos. Esto fortaleció la calidad en los mercados occidentales, que buscaban estándares cada vez más confiables [2].

No obstante, la inspección continúa siendo útil y sigue presente en oficios artesanales. Un ejemplo es el pepenado que realizan artesanos de Ixtenco, Tlaxcala, para elaborar prendas de manta hechas a mano, donde el tacto, la vista y la experiencia siguen siendo clave para obtener productos de alta calidad. La aplicación de las herramientas de esta etapa depende principalmente del volumen de producción y de las exigencias de los clientes.

Calidad 2.0: aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad se consolidó en Japón, una nación devastada por la Segunda Guerra Mundial que adoptó este enfoque para mejorar sus productos. Sin recursos naturales suficientes y con una reputación de baja calidad, las empresas japonesas aplicaron herramientas de control de calidad con resultados sobresalientes. William Edwards Deming, estadístico estadounidense, impulsó la capacitación como pilar de la calidad, extendiendo conocimientos desde la gerencia hasta los niveles operativos.

En este periodo surgieron nuevas prácticas centradas en la participación del personal en todos los niveles jerárquicos, promoviendo valores como dedicación, organización y disciplina.

A partir de 1951 aparecieron las primeras normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO). En 1987 se publicó la serie ISO 9000, que establecía los requisitos básicos de un sistema de calidad para asegurar que los productos y servicios cumplieran con las necesidades de los clientes. Con ello, el aseguramiento de la calidad pasó de un enfoque reactivo a uno preventivo, orientado a evitar defectos en lugar de detectarlos [1].



Figura 3. La estandarización de la calidad.

Desde la década de 1990, la calidad cobró gran importancia en las organizaciones de todo el mundo. Su evolución generó dos enfoques complementarios: uno centrado en herramientas estadísticas (aspectos duros) y otro centrado en factores humanos como liderazgo, trabajo en equipo y cultura organizacional (aspectos suaves). Con esto, la calidad empezó a incorporarse desde el diseño de productos y servicios [3].

Si bien muchas empresas adoptaron la certificación ISO 9001 como un trámite para cumplir requisitos comerciales, diversos estudios han mostrado que la certificación no garantiza por sí misma un mejor desempeño. Lo que realmente fortalece la calidad son las actitudes y comportamientos cotidianos del personal [6]. Esto evidenció la necesidad de considerar de manera más profunda el factor humano dentro de los sistemas de calidad.

Calidad 3.0: gestión de la calidad total

En esta etapa, la calidad se transforma en una filosofía de gestión orientada a la excelencia mediante la mejora continua y la participación de todo el personal. La Gestión de la Calidad Total

(conocida como TQM, por sus siglas en inglés) implica un cambio cultural centrado en las personas y en la satisfacción del cliente, entendida también desde dimensiones afectivas, emocionales y sensoriales [3].

En este periodo surgieron metodologías como manufactura esbelta y Seis Sigma (un enfoque estadístico para reducir fallas y variabilidad), además de modelos internacionales de excelencia como el Premio Malcolm Baldrige (Estados Unidos), el EFQM (Europa) y el Premio Deming (Japón). Estos modelos evalúan liderazgo, cultura de calidad, recursos humanos, procesos y relación con proveedores [3].

La implementación de este enfoque enfrenta barreras culturales. En México, por ejemplo, la estructura jerárquica y la distancia al poder dificultan la participación del personal y la cooperación. La falta de seguridad laboral, las compensaciones injustas y la escasa participación también afectan los programas de calidad. Un caso exitoso de adaptación es la empresa Yakult en México, que ha demostrado que cambios culturales adecuados pueden fortalecer el trabajo en equipo y la comunicación [7].

Calidad 4.0: la digitalización de la calidad

Los cambios en las preferencias de los consumidores han impulsado a las empresas a adoptar sistemas más inteligentes y personalizados. De esta manera, comenzaron a integrar tecnologías de la industria 4.0, como big data, inteligencia artificial (IA), computación en la nube, sistemas ciberfísicos, fabricación aditiva (impresión 3D) y realidad aumentada, para aplicarlas al aseguramiento y gestión de la calidad.



Figura 4. Las nuevas tecnologías aplicadas a la calidad.

En 2017 surgió el concepto de calidad 4.0, propuesto por Dan Jacob, que combina estas tecnologías con metodologías tradicionales de inspección, control y gestión. Su enfoque es proactivo y orientado a agilizar procesos [2].

Sin embargo, su implementación presenta barreras como resistencia al cambio, costos elevados, ciberseguridad, falta de habilidades digitales y ausencia de un marco conceptual definido. Para las pequeñas y medianas empresas (PyMES), estas barreras son aún mayores debido a la falta de financiamiento y de personal especializado. El futuro de la calidad 4.0 apunta a la incorporación gradual de nuevas tecnologías y al fortalecimiento de competencias digitales para los trabajadores.

Calidad 5.0: sustentabilidad y humanización de la calidad

La calidad 5.0 propone una colaboración más estrecha entre humanos y tecnología, poniendo énfasis en la sostenibilidad, la ética y la experiencia del usuario. Ya no se enfoca únicamente en el desempeño económico, sino también en los impactos ambientales y sociales. Considera a la sociedad y a las futuras generaciones como partes

interesadas clave [4,5,8].

Su propósito es armonizar la eficiencia operativa con valores humanos, promoviendo productos y servicios personalizados que respondan a necesidades individuales sin descuidar el bienestar social. Para lograrlo, la transición de la calidad 4.0 a la 5.0 requerirá estrategias centradas en las personas y en el valor social, apoyadas por tecnologías emergentes.

Surge entonces la pregunta: ¿son indispensables las nuevas tecnologías y el factor humano para el buen desempeño de la calidad 5.0?

Conclusiones

La calidad ha acompañado al ser humano desde sus orígenes y ha evolucionado mediante conceptos, herramientas y metodologías que han permitido satisfacer necesidades y expectativas crecientes. Su desarrollo continuará apoyado en tecnologías de la industria 4.0 para ofrecer productos y servicios excepcionales. En el futuro, la calidad 5.0 buscará integrar tecnología y factor humano con un enfoque en sustentabilidad y bienestar social.

Referencias

- [1] G. Hernández y Y. Hernández, "La administración de la calidad: antecedentes y prospectiva", *CiBlyT*, vol. 6, núm. 15, pp. 7–11, 2008.
- [2] G. Hernández y Y. Hernández, "¿Qué es la calidad 4.0?: una revisión de la literatura", *Revista de Ingeniería Industrial*, núm. 46, jun., pp. 129–149, 2024. doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6890>
- [3] G. Hernández y Y. Hernández, "El inicio de una nueva etapa: la calidad 4.0", *Revista Gestión y Estrategia*, núm. 24, abr., pp. 69–78, 2024. doi: <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/gye/2023n64/Hernandez>
- [4] M. Stefanovic et al., "From quality 4.0 to quality 5.0: the transition roadmap", *International Journal for Quality Research*, vol. 18, núm. 4, pp. 1199–1210, 2024. doi: <https://doi.org/10.24874/IJQR18.04-18>

Referencias

- [5] A. Fundin, J. Lilja, Y. Lagrosen y B. Bergquist, "Quality 2030: quality management for the future", *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 36, núm. 3–4, pp. 1–17, 2020. doi: <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1863778>
- [6] D. Krumwiede y J. Lavelle, "The effect of the top manager personality on a TQM environment", *Engineering Management Journal*, vol. 12, núm. 2, pp. 9–14, 2000. doi: <https://doi.org/10.1080/10429247.2000.11415069>
- [7] H. Cantú Delgado, *Desarrollo de una cultura de calidad*. México: McGraw-Hill, 2001.
- [8] JN. Claro, G. Torcoroma, B. Soto y J. Andrés, "Del paradigma de calidad total 5.0: una revisión de literatura para el sector manufacturero", *Revista de Ciencias Sociales*, vol. 30, núm. 10, pp. 551–566.



¡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