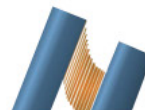


ÁTOMO X ÁTOMO

— MATERIALES NOVEDOSOS —



ÁTOMOS CON PROPÓSITO: REDISEÑANDO EL GRAFENO PARA LA ENERGÍA DEL FUTURO



GRAFENO
Propiedades,
modificaciones
y aplicaciones
energéticas



**ALMACENAMIENTO
DE ENERGÍA**
Nuevos materiales
para baterías de
alta densidad



ENERGÍA LIMPIA
Materiales 2D para
un futuro sostenible

**DEL PUNTO ABSTRACTO
AL UNIVERSO CUÁNTICO:**
nanotecnología que atrapa
electrones

**ENTRE PATÓGENOS Y EL
MICROBIOMA: ¿Cómo
diseñar nanomateriales
antimicrobianos más
específicos?**

**Incidentes de
CONTAMINACIÓN
RADIOACTIVA en la
historia de México**

**SUPERFICIES CON
HISTORIA: 45 años de
pasión por la ciencia en
México**



SOCIEDAD MEXICANA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES Y MATERIALES A. C.

CONVOCATORIAS 2026

XIX Conferencia Internacional de Superficies, Materiales y Vacío



21-25 de septiembre de 2026



Mérida, Yucatán, México



Becas para estudiantes



Premio Intercovamex a las Mejores Tesis de Maestría y Doctorado



Premio Dr. Orlando Zelaya a la Juventud Investigadora



Premio Dr. Francisco Javier Espinoza a la Mejor Investigación Aplicada



1er Aniversario Capítulo Estudiantil SMCTSM: Jóvenes Investigadores



3 de diciembre de 2026



Ingeniería Fotónica, ESIME Zacatenco, CDMX



Pláticas plenarias con investigadores reconocidos
(Plenary talks by renowned researchers)



Concurso de carteles



Premios, regalos y muchas sorpresas más

Para más información, bases completas y registro en:



<https://site.smctsm.org.mx/>



CONTENIDO

Átomos con Propósito: Rediseñando el Grafeno para la
Energía del Futuro / Luis Ángel Alvarado Leal 6

Del punto abstracto al universo cuántico: nanotecnología
que atrapa electrones / Víctor Hugo Méndez García,
Leticia Ithsmel Espinosa, Irving Eduardo Cortes 14

Entre patógenos y el microbioma: ¿Cómo diseñar nanomateriales
antimicrobianos más específicos? / Roberto Vázquez Muñoz 23

¿Quién está escribiendo? / María Isabel Pérez Montfort 32

Premios SMCTSM: jóvenes talentos y trayectorias
consolidadas en ciencia de materiales 36

Incidentes de contaminación radioactiva en la historia
de México / A. A. Saavedra-Romero, O. Soriano Romero,
S. Carmona-Téllez 39

Semblanza en Memoria Dr. Roberto Machorro Mejía / Noemi Abundiz Cisneros,
Roberto Sanginés de Castro, Estrella Terán Hinojosa 46

Semblanza en Memoria Dr. Stephen Muhl / Sandra E. Rodil 50

Superficies con historia: 45 años de pasión por la ciencia
en México / Eduardo Martínez Guerra y María Leticia Pérez Arrieta 54

SMCTSM: Jóvenes Investigadores. El nacimiento de un espacio para la nueva
generación científica / A. D. Alcantar-Mendoza, M. del R. González-García,
E. A. Contreras, y J. S. Rodríguez-Aguilar 58

LINEAMIENTOS EDITORIALES 63

Átomo x Átomo – Materiales Novedosos es una publicación semestral de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies, A.C., dedicada a la divulgación científica de temas relacionados con materiales, superficies, nanotecnología y áreas afines. Los artículos, opiniones, imágenes y demás contenidos publicados en la revista son responsabilidad exclusiva de sus autores y no reflejan necesariamente la postura de la Sociedad. Se autoriza la reproducción parcial de los contenidos siempre que se cite claramente la fuente correspondiente. La reproducción total de artículos, imágenes o materiales gráficos requerirá autorización previa y por escrito de la revista y/o de los autores, según corresponda. Los autores son responsables de garantizar la originalidad de sus textos y de contar con los permisos necesarios para el uso de imágenes, figuras o materiales protegidos por derechos de autor. Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización expresa, salvo en los casos permitidos por la legislación aplicable y con el debido reconocimiento de la fuente. La SMCTSM agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo financiero otorgado a través del proyecto ACADEMIAS-2025-A-13, titulado "Programa de Promoción, Divulgación y Formación de Talento en Ciencia de Superficies, Materiales y Vacío (2025–2027)"



EQUIPO EDITORIAL

Editor en Jefe

Dr. Noboru Takeuchi Tan
CNyN-UNAM

Editora de Contenidos

Biol. Isabel Pérez Montfort
CNyN-UNAM

Comité Editorial

Dr. Servando Aguirre Tostado
CIMAV

Editora Web y Redes

Dra. Yenny Lucero Casallas Moreno
SECIHTI-UPIIA-IPN

Dr. Wilfrido Calleja Arriaga
INAOE

Webmaster

Ing. Jesús Alejandro Isais Torres

Dra. Yenny Lucero Casallas Moreno
SECIHTI-UPIIA-IPN

Diseño y Maquetación

Rhino CO. CREATIVE LAB

Dr. Abraham Nehemías Meza Rocha
SECIHTI-BUAP

M.T.I.E. Alejandro Lizardo Méndez
LDG. Rubén Luna Rodríguez

DIRECTORIO

Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales

Dra. Leticia Pérez Arrieta
Presidenta

Dr. Eduardo Martínez Guerra
Secretario

Dr. Abraham Meza Rocha
Tesorero

Dr. Noboru Takeuchi Tan
Vocal de Congreso

Dr. Ateet Dutt
Vocal de Cursos

Dr. Yenny Casallas Moreno
Vocal de Publicaciones

Dr. Cristo Yee Rendón
Presidente Anterior

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas
Rector

Dra. Patricia Dávila Aranda
Secretaria General

Mtro. Tomás Humberto Rubio Pérez Secretario
Administrativo

Dra. Diana Tamara Martínez Ruíz
Secretaría de Desarrollo Institucional

Dra. María Soledad Funes Argüello
Coordinadora de la Investigación Científica

Dr. Trino Zepeda Partida
Director Centro de Nanociencias y Nanotecnología

Dr. Noboru Takeuchi Tan
Coordinador Ciencia Pumita



EDITORIAL



Palabra × palabra, átomo × átomo

Este primer número marca el inicio de una iniciativa de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales orientada a fortalecer la comunicación y la divulgación de la ciencia en un campo cuya relevancia científica y tecnológica continúa en crecimiento.

La ciencia de superficies y materiales sustenta múltiples desarrollos contemporáneos, desde dispositivos electrónicos y sistemas energéticos hasta aplicaciones en salud y medio ambiente. Aunque estos temas son cada vez más conocidos, no siempre es claro para el público no especializado qué corresponde a avances reales y qué pertenece al ámbito de la especulación o de la ficción. Es aquí donde la divulgación científica adquiere un papel central: ofrecer explicaciones claras, distinguir entre posibilidades y realidades, y acercar el conocimiento a distintos públicos.

Nuestro nombre, Átomo × Átomo, alude a una idea central en la ciencia de materiales y la nanotecnología: la posibilidad de construir materiales átomo por átomo. Este enfoque, fundamental en muchos desarrollos actuales, refleja el espíritu de la publicación.



Esta revista nace con el propósito de reunir a investigadores, estudiantes y profesionales en un diálogo abierto, donde las ideas y experiencias se compartan con rigor, claridad y sentido de responsabilidad. La creación de una revista es, en sí misma, un acto de confianza en la comunidad que la sostiene, en la pertinencia de sus temas y en la necesidad de abrir nuevos espacios de diálogo.

Iniciar este proyecto implica también asumir retos. La continuidad, la calidad de los contenidos y la participación activa de la comunidad serán factores determinantes para su consolidación. En este sentido, esta revista no es un esfuerzo aislado, sino una invitación abierta a contribuir, proponer y construir colectivamente.



Con este primer número, damos un paso inicial. Confiamos en que será el comienzo de un proyecto que fortalezca los vínculos dentro de nuestra comunidad y que contribuya a acercar la ciencia de superficies y materiales a un público más amplio.

Noboru Takeuchi
Editor



ÁTOMOS CON PROPÓSITO: REDISEÑANDO EL GRAFENO PARA LA ENERGÍA DEL FUTURO

Luis Ángel Alvarado Leal

CICFIM, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas,

Universidad Autónoma de Nuevo León

Autor de Correspondencia: luis.alvaradoll@uanl.edu.mx



RESUMEN:

¿Es posible generar energía limpia usando un solo átomo como motor? Este artículo explora cómo la nanotecnología nos permite rediseñar el grafeno, un material de carbono puro, para sustituir metales caros como el platino en las celdas de combustible. A través de simulaciones cuánticas avanzadas, hemos descubierto que no basta con elegir el metal adecuado; el secreto para controlar las reacciones químicas reside en el “vecindario” atómico y en el magnetismo de los materiales. Estos hallazgos abren una ruta para producir electricidad y desinfectantes industriales de forma más barata y sostenible, marcando un hito en el diseño racional de materiales para la energía del futuro.

Palabras clave: grafeno, energía sostenible, catalizadores de un solo átomo, reducción de oxígeno, magnetismo atómico, nanotecnología

INTRODUCCIÓN: EL CORAZÓN INVISIBLE DE LA ENERGÍA LIMPIA

En un mundo que busca desesperadamente alternativas a los combustibles fósiles, tecnologías como las celdas de combustible y las baterías de aire-metal se perfilan como las piezas clave para una transición energética real. Estos dispositivos prometen electricidad limpia, silenciosa y eficiente, teniendo como único “residuo”, agua pura. Sin embargo, detrás de esta promesa existe un obstáculo microscópico que ha frenado su llegada masiva a nuestros hogares y vehículos: la reacción de reducción de oxígeno (ORR, del inglés oxygen reduction reaction).

La ORR es el proceso químico mediante el cual el oxígeno del aire se convierte en agua, liberando la energía que hace funcionar a estos dispositivos. Pero hay un problema: esta reacción es intrínsecamente lenta y difícil de controlar. Durante décadas, hemos dependido del platino para acelerarla, pero este metal es tan costoso y escaso que hace que las celdas de combustible y las baterías de aire-metal sean prohibitivas para la mayoría. Además, la ORR tiene una “doble personalidad”: puede producir agua (el camino ideal para generar energía) o peróxido de hidrógeno (un subproducto valioso para desinfección industrial, pero ineficiente para generar electricidad).



Aquí es donde entra en juego el grafeno, una red de átomos de carbono con propiedades eléctricas asombrosas que puede servir como el “tablero de ajedrez” perfecto para rediseñar la química. La frontera actual de esta investigación son los catalizadores de un solo átomo (SACs, del inglés single atom catalysts). En lugar de usar grandes bloques de metal, la ciencia ahora busca anclar átomos metálicos individuales sobre el grafeno para que cada átomo trabaje a su máxima capacidad, reduciendo costos y aumentando la eficiencia.

Mi investigación doctoral se sumerge en este mundo atómico para resolver una

pregunta fundamental: ¿Qué hace que un átomo decida producir agua o peróxido? A través de simulaciones computacionales avanzadas, hemos descubierto que el secreto no solo está en el metal que elegimos, sino en su “vecindario” atómico y, sorprendentemente, en su magnetismo. El momento magnético del metal actúa como una brújula invisible que guía al oxígeno hacia el destino deseado, permitiéndonos “hackear” la reacción a nivel cuántico.

En las siguientes secciones, exploraremos cómo hemos aprendido a manipular estas variables para transformar el grafeno en un material con propósito, capaz de liderar la energía del futuro.

METODOLOGÍA: EL ARTE DE CALCULAR LO INVISIBLE

Para entender cómo se comportan los átomos, no utilizamos microscopios convencionales ni matraces con líquidos coloridos. En su lugar, construimos un laboratorio digital dentro de potentes supercomputadoras.

SIMULANDO LA PERFECCIÓN Y SUS DEFECTOS

Nuestra investigación se basó en una técnica llamada Teoría del Funcional de la Densidad (DFT por sus siglas del inglés density functional theory). En términos sencillos, la DFT es una herramienta matemática que nos permite dibujar un “mapa” del sitio en el que se encuentran los electrones en un material. Si conocemos este mapa, podemos predecir con una precisión asombrosa si un material será un buen catalizador antes de fabricarlo en un laboratorio real.

Para este estudio, diseñamos “tableros” de grafeno digital. El grafeno perfecto es como un panel de abejas infinitamente plano, hecho exclusivamente de átomos de carbono dispuestos en celdas hexagonales perfectas. Sin embargo, un panel perfecto es demasiado estable para reaccionar. Por ello, le creamos vacancias: agujeros estratégicos donde retiramos “celdas” de carbono del panel. En estos huecos, rodeados a veces por átomos de nitrógeno para dar estabilidad, se introdujeron átomos individuales de diferentes metales como hierro, cobalto o níquel. Así nacen los catalizadores de un solo átomo, donde cada metal queda suspendido y listo para trabajar.

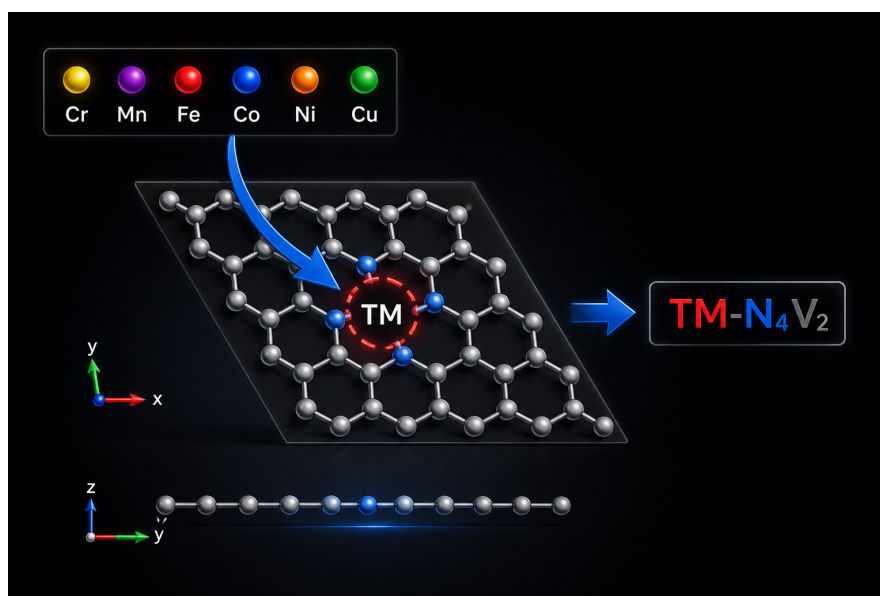


Figura 1: Representación tridimensional de un catalizador de un solo átomo. En esta estructura, un átomo metálico individual (como el hierro, mostrado en rojo) se ancla en las celdas de un “panel” de grafeno (gris) y es sostenido por 4 átomos de nitrógeno (azul). Esta disposición permite que el metal quede atrapado en el plano del grafeno, maximizando su exposición para transformar el oxígeno con eficiencia. Etiquetamos esta estructura como $\text{TM-N}_4\text{V}_2$, donde: TM representa el Metal de Transición atrapado (como los mostrados en el recuadro rojo), N_4 indica los 4 átomos de nitrógeno que rodean y estabilizan al metal, V_2 hace referencia a la doble vacancia, es decir, el espacio dejado por el retiro de dos átomos de carbono del “panel” original.

Escenarios de Prueba Cuánticos

Utilizamos programas de alta precisión (como VASP y Quantum ESPRESSO) para someter a estos modelos a pruebas extremas:

VASP
Vienna Ab initio
Simulation Package

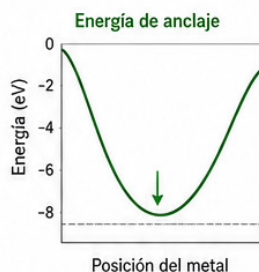
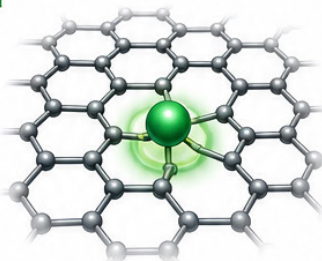
**QUANTUM
ESPRESSO**
open-source quantum
simulation software



1. Estabilidad del Sistema

Evaluamos cuánta energía se requiere para “anclar” el átomo metálico dentro de la estructura del grafeno.

Esto nos permite determinar si el material será estable o si el metal podría desplazarse, afectando su rendimiento.



Estable

El metal permanece anclado en su sitio.

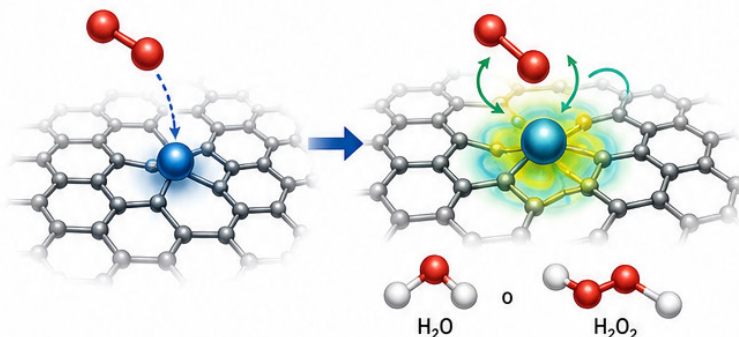
2. La Danza del Oxígeno

Simulamos cómo una molécula de oxígeno interactúa con el metal.

Analizamos:

- La fuerza de la reacción
- El flujo de electrones
- La ruptura de enlaces del oxígeno

Este proceso es clave para entender cómo se forman productos como agua o peróxido.

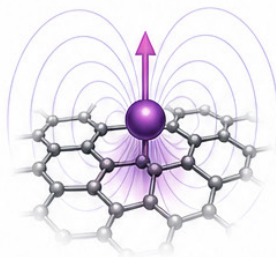


3. El Interruptor Magnético

Analizamos el “espín” de los átomos, una propiedad cuántica similar a la de un pequeño imán.

Este “magnetismo invisible” influye directamente en:

- La dirección de la reacción
- La eficiencia del proceso químico

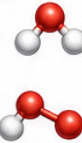


Espín atómico

Espín ↑

Espín ↓

Guía invisible que decide el destino de la reacción



Resultado Final

Gracias a este enfoque, logramos:



Ejecutar miles de experimentos virtuales



Reducir significativamente tiempo y costos



Obtener una comprensión profunda de la química a escala atómica



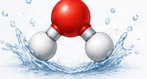
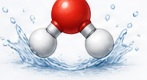
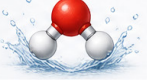
Esto nos brinda una ventaja enorme frente a los métodos experimentales tradicionales.

RESULTADOS: LOS LÍDERES DEL PANAL Y LA BRÚJULA INVISIBLE

Tras miles de horas de procesamiento en supercomputadoras, nuestro laboratorio virtual reveló cómo los átomos individuales “gobiernan” la química del oxígeno. Los resultados no solo confirmaron que podíamos sustituir al platino, sino que nos mostraron

las reglas secretas que siguen los átomos para decidir el destino de la energía. En el Cuadro 1 se resumen los resultados principales para los seis metales estudiados, destacando su comportamiento magnético y el producto final que generan.

Los Campeones de la energía limpia

Metales	Magnetismo	Producto	Eficiencia
 Hierro	 Moderado	 Agua	 Excelente (el mejor)
 Manganeseo	 Alto	 Agua	 Bueno
 Cobalto	 Bajo	 Agua	 Regular
 Cromo	 Muy Alto	 Agua	 Pobre
 Níquel	 Nulo	 Peróxido	 Efectivo para desinfección
 Cobre	 Inducido	 Peróxido	 Efectivo para desinfección

Cuadro 1: Comparativa de selectividad y eficiencia. Resumen de cómo la naturaleza magnética de cada átomo metálico sobre el grafeno decide si el oxígeno se reduce de forma completa para generar electricidad (camino de 4 electrones) o de forma parcial para producir peróxido de hidrógeno (camino de 2 electrones). El hierro destaca por ofrecer el equilibrio perfecto para las celdas de combustible.

Al probar diferentes metales en nuestro panal de grafeno, descubrimos que no todos los átomos actúan igual. El hierro (Fe) y el manganeso (Mn) se revelaron como los “campeones” indiscutibles para generar energía limpia. Estos metales mostraron una capacidad asombrosa para guiar al oxígeno por la ruta de los cuatro elec-

trones, produciendo agua pura y liberando la mayor cantidad de electricidad con el menor esfuerzo energético.

Por el contrario, metales como el níquel (Ni) y el cobre (Cu) mostraron una ruta más corta pero menos potente: la de los dos electrones, que produce peróxido de hidrógeno.

EL MAGNETISMO: LA BRÚJULA DEL OXÍGENO

¿Por qué el hierro produce agua y el níquel produce peróxido? La respuesta resultó ser fascinante: el magnetismo. Descubrimos que los metales con un fuerte “momento magnético” actúan como una brújula invisible que alinea al oxígeno de forma tan potente que logra estirar y romper sus enlaces químicos con facilidad.

Nuestros datos muestran una correlación directa: a mayor magnetismo en el metal, más fuerte es la atracción al oxígeno y más probable es que la reacción termine en agua pura. Esto nos permite usar el magnetismo como una herramienta de diseño para predecir el éxito de un material antes de fabricarlo.

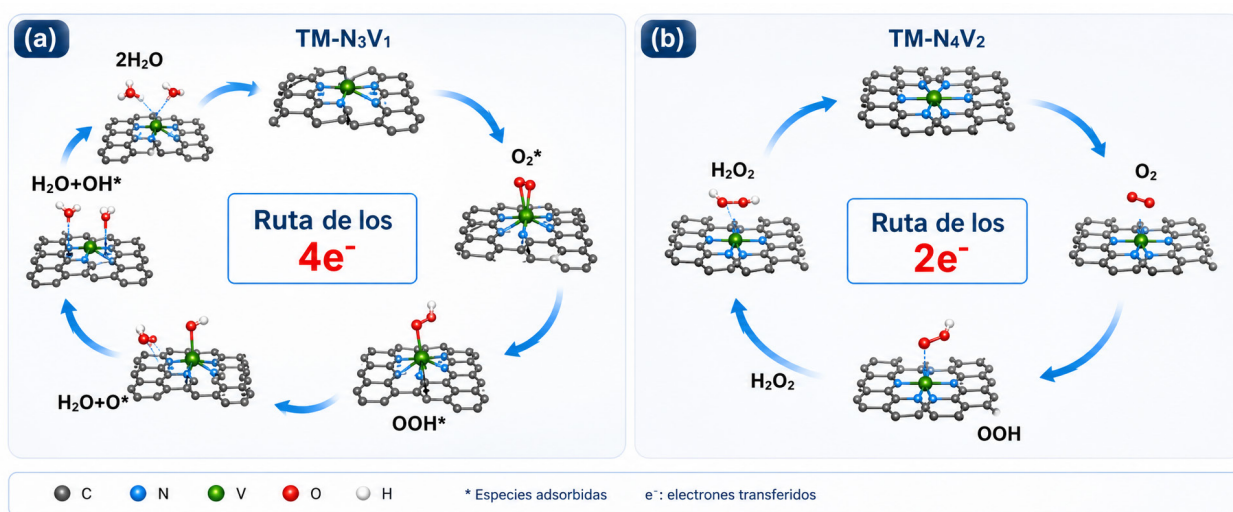


Figura 2: La reacción de reducción de oxígeno tiene dos destinos posibles: la producción de agua (ruta de 4 electrones), ideal para generar electricidad en celdas de combustible, o la producción de peróxido de hidrógeno (ruta de 2 electrones), un potente desinfectante industrial. El diseño atómico decide qué camino tomar.

CAMBIANDO EL VECINDARIO: EL EFECTO TOPE

Uno de los hallazgos más sorprendentes ocurrió al modificar el entorno del metal. Normalmente, el metal se asienta de forma plana dentro de la red del grafeno. Sin embargo, al reducir el tamaño del agujero en el panel (pasando de un entorno N4V2 a uno N3V1), el átomo metálico ya no cabe y sobresale de la superficie, formando una pequeña prominencia o tope atómico. Esta nueva ubicación lo deja mucho más expuesto y altera drásticamente su reactividad, permitiendo que el metal interactúe

con el oxígeno de una forma mucho más agresiva y eficiente.

Este cambio de posición modificó el comportamiento de los metales. Metales que antes eran mediocres, como el cobre, se volvieron extremadamente activos al quedar más expuestos, cambiando su decisión química para empezar a producir agua en lugar de peróxido. Esto demuestra que, a nivel de los átomos, la ubicación lo es todo.

EL REY DEL VOLCÁN

Para resumir todo el potencial de nuestros catalizadores, creamos un gráfico que en ingeniería llamamos “Curva de volcán”. En la cima de esta montaña, en el punto de equilibrio perfecto donde la reacción fluye con la máxima eficiencia, encontramos al hierro. Este resultado posiciona a los catalizadores de un solo átomo de hierro sobre grafeno como los herederos legítimos del trono que hoy ocupa el costoso platino.

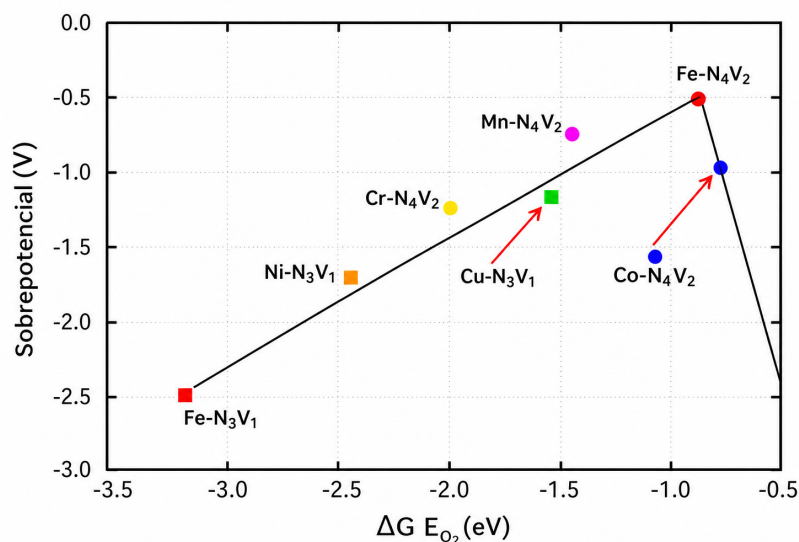


Figura 3: La curva del volcán es la brújula de la catálisis. En la base se encuentran los materiales demasiado débiles o demasiado fuertes para procesar el oxígeno; en la cima de la montaña, donde se alcanza el equilibrio perfecto de energía, se sitúa el hierro, consolidándose como el sustituto ideal del platino.

CONCLUSIONES: EL DISEÑO DE UN FUTURO SOSTENIBLE

Nuestra investigación ha demostrado que el camino hacia la energía limpia no solo depende de grandes infraestructuras, sino de nuestra capacidad para comprender y manipular la materia en su escala más fundamental: átomo por átomo. A través de este viaje por el laboratorio virtual, hemos alcanzado tres conclusiones clave que podrían cambiar las reglas del juego en la ciencia de materiales:

1. La ingeniería del vecindario es vital: No basta con elegir el metal adecuado. Hemos comprobado que el entorno del grafeno —si el átomo metálico se asienta en un agujero grande (V2) o pequeño (V1)— altera drásticamente su eficiencia. Un metal que parecía “mediocre” en una superficie plana puede convertirse en una estrella catalítica si logramos que sobresalga de la red como un pequeño tope cuántico, atrayendo con más fuerza al oxígeno.

2. El magnetismo es la brújula cuántica: Hemos descubierto que el “espín” o magnetismo de los metales es un factor decisivo. Metales con un fuerte momento magnético, como el hierro y el manganeso, actúan como imanes que guían a la molécula de oxígeno para que se rompa de la forma adecuada, garantizando la producción de agua pura y maximizando la energía obtenida.
3. El fin de la era del platino: Los resultados sitúan a los catalizadores de un solo átomo de hierro sobre grafeno nitrogenado como los herederos legítimos del costoso platino. Este hallazgo abre la puerta a celdas de combustible mucho más baratas y a una producción de peróxido de hidrógeno más eficiente para limpiar nuestras aguas.

En definitiva, hemos pasado de una química de “ensayo y error” a un diseño racional de materiales. El uso de supercomputadoras y teorías cuánticas avanzadas (DFT) nos permite ahora dibujar el mapa de la energía del futuro antes de poner un solo pie en el laboratorio físico.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y a la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas (FCFM), así como al Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM, por el apoyo académico y las facilidades brindadas. Asimismo, reconoce el financiamiento de la DGAPA-UNAM (proyectos IN102725 e IN116725), del Programa Conjunto de Colaboración de Investigación Sistema UI/UNAM y del Centro de Supercómputo de la DGCTIC-UNAM (LANCAD-UNAM-DGTIC-051 y 382). Finalmente, agradece la dirección y asesoramiento de los doctores Héctor Noé Fernández Escamilla y Noboru Takeuchi Tan, así como la colaboración de su comité de tesis y coautores.

REFERENCIAS

- (1) Alvarado-Leal, L. A., et al. (2024). “Influence of the Atomic Local Environment on the ORR Activity of Single-Atom Catalysts in N-Doped Graphene”. ACS Applied Energy Materials.
- (2) Alvarado-Leal, L. A., et al. (2025). “DFT Study of Oxygen Adsorption by Single-Atom Catalysts on N-Doped Graphene: Implications for Oxygen Reduction Reactions”. ACS Applied Nano Materials.
- (3) Nørskov, J. K., et al. (2004). “Origin of the Overpotential for Oxygen Reduction at a Fuel-Cell Cathode”. The Journal of Physical Chemistry B.
- (4) Novoselov, K. S., et al. (2004). “Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films”. Science.
- (5) Alvarado-Leal, L. A., et al. (2024). “Exploring nitrogen-mediated effects on Fe and Cu cluster development in graphene: a DFT study”. Nanoscale.

DEL PUNTO ABSTRACTO AL UNIVERSO CUÁNTICO: NANOTECNOLOGÍA QUE ATRAPA ELECTRONES



Víctor Hugo Méndez García
victor.mendez@uaslp.mx

Leticia Ithsmel Espinosa
Irving Eduardo Cortes
CIACYT/Facultad de Ciencias

RESUMEN

Desde un simple trazo de lápiz en el papel hasta los nanocrisales que hoy iluminan nuestras pantallas de televisión, el punto es mucho más que una pequeña marca: es un puente entre lo abstracto y lo real. Lo que en matemáticas parece no tener dimensiones, en la física moderna se transforma en un universo entero de posibilidades. Los puntos cuánticos, esos diminutos cristales capaces de confinar electrones, han abierto una frontera donde lo invisible se vuelve útil y lo minúsculo se vuelve poderoso. Concluimos que lo diminuto no es despreciable, sino todo lo contrario: en los puntos cuánticos convergen ciencia básica y tecnología con potencial para desarrollar la comunicación y la computación cuántica; y lo que sigue en estas páginas es un recorrido para descubrir cómo todo surge de lo más pequeño y cómo, al controlarlo, emergen fenómenos reales que parecen ficción y que permitirán transformar el mundo que nos rodea.

PALABRAS CLAVE: punto matemático; dimensiones (0D-3D); dualidad ondapartícula; principio de incertidumbre; confinamiento cuántico; puntos cuánticos; comunicación cuántica.

ENTRE LO ABSTRACTO Y LO REAL

En matemáticas, el punto es el principio y el fin de toda construcción geométrica: un ente abstracto, sin tamaño ni forma, que existe únicamente para señalar una posición. Su naturaleza radica en no tener existencia física; es meramente un concepto. Sin embargo, al intentar plasmarlo en una hoja, nos enfrentamos a la imperfección propia del mundo real (Figura 1).

Figura 1. Del concepto abstracto a su representación física.

En matemáticas, un punto carece de dimensiones y, en sentido estricto, sería invisible. Sin embargo, al representarlo en el mundo real adquiere tamaño y forma, convirtiéndose en la base de toda figura geométrica y de la escritura misma.



Con un lápiz afilado o un bolígrafo, nuestro punto se convierte en una minúscula mancha de grafito o tinta: tiene grosor, textura y color. Su diámetro, aunque diminuto, puede medir del orden de décimas de milímetro, lo que lo convierte en un gigante en comparación con el punto ideal definido en nuestras clases de matemáticas, que carece de dimensiones (no tiene ancho, ni largo ni alto).

Además, nuestro ojo impone un límite. Si lográramos afinar la punta del lápiz y

trazar un punto aún más diminuto, llegaría a un límite en el cual dejaríamos de percibirlo: el punto comienza a desvanecerse. La visión humana es finita.

Así, entre su concepto ideal y su representación física se abre un espacio fascinante: el de lo abstracto y su realización en el mundo real. En este pequeño acto de trazar un punto, de la mente al papel, se establece la relación entre la matemática y la realidad: un diálogo entre las ideas y su materialización.

EL PUNTO: GENERADOR DE DIMENSIONES

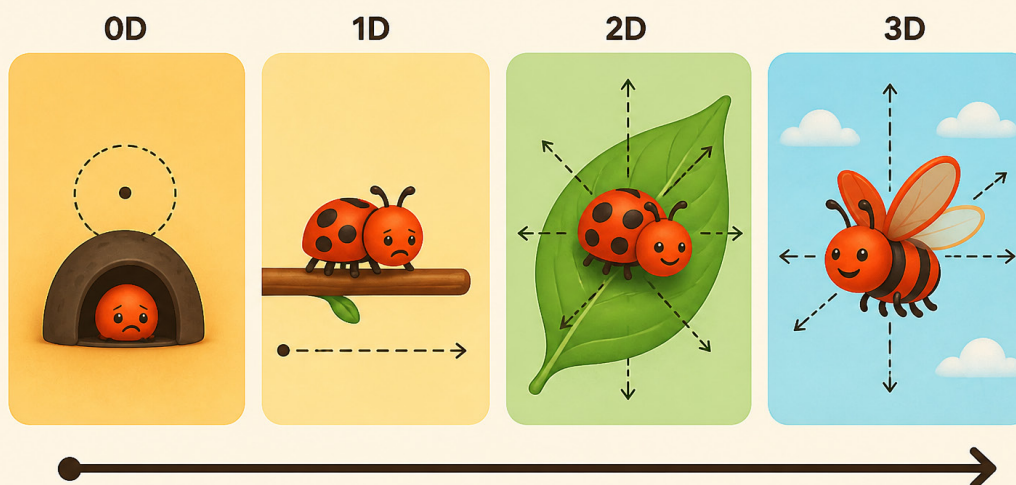
La palabra “dimensión” tiene raíces que trascienden el ámbito científico. En un sentido filosófico o metafísico, se ha utilizado para describir planos o esferas de existencia más allá de lo que percibimos como real, lo que podemos ver o tocar. Así, se habla de dimensiones de la mente, como aquellos espacios donde habitan las ideas, los sueños y la imaginación; o de dimensiones espirituales, concebidas como realidades no físicas o distintos estados de conciencia. En este contexto, la dimensión no es una magnitud medible, sino un marco de existencia, un nivel de realidad que amplía nuestra percepción de lo que entendemos por “estar” o “ser”.

En el terreno del pensamiento matemático y físico, el concepto está más relacionado con la “posición” y el “desplazamiento”. En nuestro mundo, el espacio se describe mediante tres dimensiones, denotadas como 3D, las cuales pueden construirse a partir del elemento más básico que hemos discutido: el punto.

A partir de un punto podemos construir líneas, planos y volúmenes (Figura 2). Una línea aparece al extender un punto en una dirección, como cuando arrastramos el lápiz en línea recta; así se genera la primera dimensión (1D). Una mini

catarina colocada ahí, puede desplazarse hacia adelante o hacia atrás, confinada a una línea. Ahora bien, extendamos toda esta línea sobre la hoja, como al frotar una tiza acostada; entonces surge lo que conocemos como segunda dimensión (2D). La catarina puede caminar sobre un plano en múltiples trayectorias, ya no solo en un eje sino en toda la superficie. Finalmente, el espacio tridimensional (3D) se obtiene al extender el plano en una tercera dirección. Levantemos la hoja, abriendo más espacio en la dirección perpendicular, aparece el volumen. Ya puede volar nuestra catarina.

Figura 2. Generación de dimensiones a partir de un punto: en 0D la catarina permanece confinada en un punto; en 1D se desplaza únicamente sobre una línea (rama); en 2D puede moverse libremente sobre un plano (hoja); y en 3D adquiere libertad total de movimiento en el espacio (volando en todas direcciones).



UNA CATARINA EN EL MUNDO CUÁNTICO

La libertad de moverse es opuesta al grado de confinamiento. Ahora bien: confinar es limitar, y como toda restricción, esto puede causar ansiedad y desatino! Pero a escalas diminutas, en el mundo cuántico, la posibilidad de confinar ha revolucionado áreas como la electrónica, las comunicaciones, la industria aeroespacial, y muchísimas más.



Y es que, a escalas muy pequeñas —más específicamente a nanoescala—, las reglas de la física cotidiana dejan de describir íntegramente el comportamiento de los sistemas. Si redujéramos nuestra catarina hasta el tamaño de un electrón, su comportamiento dejaría de ser el de un animalito con posición bien definida y comenzaría a comportarse de una manera muy distinta: podría manifestar propiedades ondulatorias, como la luz!. Es decir, podría “extenderse” en el espacio, reflejarse o incluso atravesar barreras en un fenómeno conocido como efecto túnel. Y lo más sorprendente es que también ocurre al revés: algo que pensamos como una onda puede comportarse como una partícula. A esto se le conoce como dualidad onda-partícula, uno de los aspectos más fascinantes de la física moderna.

Pero no solo eso, en la música, una nota o tono se logra solo si la cuerda vibra de cierta forma (es decir, al estar afinada) y de manera análoga la catarina podría adoptar únicamente ciertos valores de energía (un modo de vibración determina una energía específica). Su estado deja entonces de ser

continuo y se vuelve discreto: cantidades a “saltos”. De allí proviene el nombre de física cuántica: la física de lo cuantizado. [1]

Para visualizarlo, imaginemos un mundo en el que esta ley cuántica gobernara también nuestro entorno cotidiano, es decir, el mundo macroscópico. La catarina cuántica no podría volar alcanzando cualquier altura de manera continua, sino únicamente ciertas alturas “permitidas”. Supongamos que son 1, 2 y 3 metros. Si está a 1m, permanecería allí y probablemente mediante un impulso puede pasar a 2m, pero nunca tomar posiciones intermedias. Asimismo, de 2 a 3 metros: o está en 2 o en 3m, pero nunca en una altura intermedia. Es extraño y, al mismo tiempo, difícil de comprender, pero este modo de existir en niveles discretos a nanoescala forma parte de un conjunto de fenómenos que hoy se aprovechan en la creación de dispositivos cotidianos de alto desempeño, de los cuales hablaremos más adelante.

La catarina cuántica también presenta otra característica sorprendente: nunca podemos conocer todo de ella al mismo

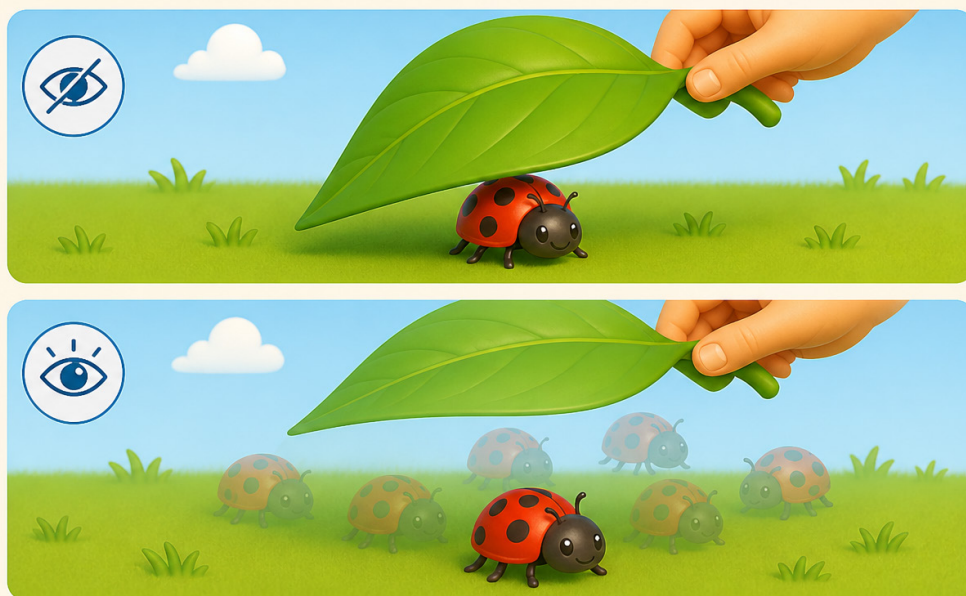
tiempo. Si intento fijarme en dónde está, puedo obtener una idea relativamente precisa de su posición, pero al mismo tiempo pierdo información sobre cómo se mueve, es decir, sobre su velocidad. Además, al intentar observarla, puedo alterarla: en el proceso de localizarla, quizá ya se movió, o incluso mi propia intervención la desplazó. En cambio, si me concentro en medir su velocidad, entonces ya no puedo saber con certeza dónde se encontraba.

Es como jugar a las escondidas con un bichito escurridizo: en el mismo intento de observarla, ya la he alterado. Lo único que puedo afirmar es la probabilidad de encontrarla en cierto lugar: tal vez esté aquí, o quizá allá... pero nunca con certeza absoluta. Lo que aparece aquí son dos de los grandes pilares de la física cuántica: el principio de incertidumbre, que impide conocer simultáneamente ciertas magnitudes con precisión absoluta, y la naturaleza probabilística de los procesos [2], que solo nos permite hablar de la probabilidad de encontrarla en cierto lugar (Figura 3).

Figura 3. Incertidumbre y probabilidad en nuestra “catarina cuántica”.

Arriba: representación de una posición bien definida antes de realizar una medición.

Abajo: representación de la naturaleza probabilística del estado cuántico, en el que no es posible asignar una posición determinada antes de la medición, sino únicamente una probabilidad de encontrar la catarina en una posición particular.



Y lo más sorprendente es que todos estos fenómenos —la cuantización, la dualidad onda-partícula y la naturaleza probabilística— no pertenecen únicamente al terreno de la teoría: hoy sabemos cómo provocarlos y controlarlos al confinar la materia a escalas nanométricas. Es precisamente en este confinamiento donde todas estas ideas se condensan en una pieza clave de la nanotecnología que ya impacta nuestra vida cotidiana: el punto cuántico.

CERO DIMENSIONES, POTENCIAL INFINITO

Un punto cuántico es un cristalito tan diminuto que logra atrapar electrones en todas direcciones. En ese encierro, ya no pueden moverse libremente: es un sistema de cero dimensiones (OD), como la catarina en la cuevita. Como parte de su naturaleza cuántica, los electrones se comportan como onda y partícula a la vez, no pueden localizarse con certeza y su energía toma valores discretos, es decir, está cuantizada. Por estas propiedades se les conoce como “átomos artificiales”.

Pero ¿por qué todo esto representa una ventaja? La discretización de la energía hace que su interacción con estímulos exteriores —por ejemplo, con la luz— sea mucho más selectiva: en lugar de responder

de forma difusa, lo hace en valores bien definidos. Al existir menos estados disponibles, se reducen las pérdidas y aumenta la probabilidad de que ocurran procesos útiles, como la emisión o absorción de luz. En conjunto, este control permite diseñar materiales más eficientes y con propiedades ajustables, lo que abre la puerta a nuevas tecnologías.

En otras palabras, cuando la energía está cuantizada, las transiciones ocurren entre niveles bien definidos, lo que favorece una interacción selectiva y eficiente con la radiación. En contraste, en sistemas con energía continua, la respuesta es difusa, lo que conduce a una interacción menos eficiente (Figura 4).

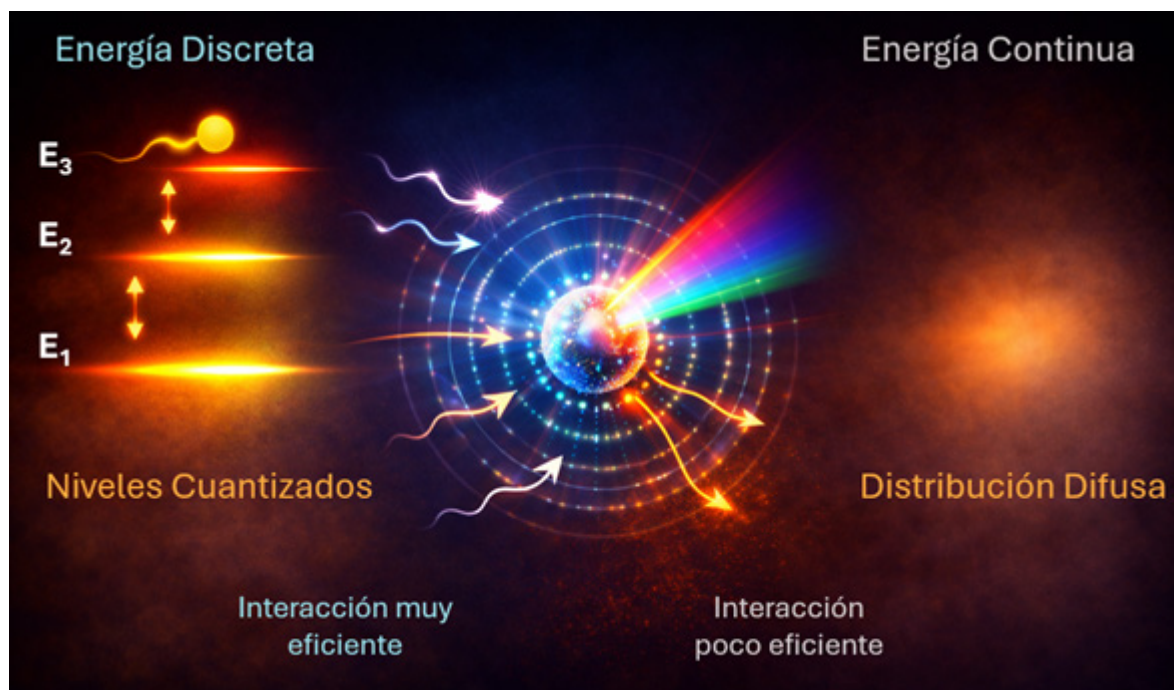


Figura 4. Esquema conceptual de la interacción en sistemas cuánticos. Cuando la energía está cuantizada (izquierda), los electrones solo pueden ocupar niveles bien definidos, lo que permite interacciones selectivas con la luz. En cambio, en sistemas con energía continua (derecha), la respuesta es difusa y menos selectiva. Esta diferencia es la base del alto desempeño de dispositivos basados en puntos cuánticos.

Lejos de ser solo un concepto de laboratorio, los puntos cuánticos ya forman parte de nuestra vida cotidiana en diversas tecnologías emergentes (Figura 5). Precisamente gracias a esa interacción selectiva con la luz, en las pantallas de televisores y teléfonos móviles permiten obtener colores más vivos, brillantes y bien definidos. De manera similar, en el campo de la energía solar, esta selectividad promete paneles más eficientes, capaces de aprovechar mejor la radiación del sol. En medicina, su capacidad de emitir luz de forma precisa los convierte en marcadores ideales, permitiendo localizar tumores en etapas tempranas con gran sensibilidad.



Figura 5. Aplicaciones de los puntos cuánticos en tecnologías de frontera. Los puntos cuánticos ya forman parte de nuestra vida cotidiana, presentes en pantallas de televisión y dispositivos móviles, en paneles fotovoltaicos y en áreas como la nanomedicina. En el futuro cercano, serán la base de nuevas formas de comunicación y computación cuántica.

Pero quizá lo más sorprendente es que estas mismas ideas están dando origen a nuevas áreas de la nanotecnología que ya comienzan a tomar forma: la comunicación y la computación cuántica. Al controlar con precisión los estados cuánticos — como ocurre en los puntos cuánticos — es posible manipular la información de ma-

neras completamente nuevas, permitiendo transmitirla con mayor seguridad y procesarla de forma mucho más eficiente. En particular, la computación cuántica promete cambiar profundamente la manera en que resolvemos problemas, abriendo posibilidades que hoy están fuera del alcance de las computadoras tradicionales.

NANOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

Diversos grupos de investigación en nanotecnología trabajan en el desarrollo y estudio de nanoestructuras capaces de confinar electrones en distintas dimensiones (2D, 1D y 0D) en nuestro país. Estas estructuras se fabrican mediante técnicas de alta precisión, como la epitaxia de haces moleculares (MBE, por sus siglas en inglés), que permite depositar átomos capa por capa y construir materiales con control casi atómico. [3]

En el contexto de la nanotecnología, no solo se busca crear puntos cuánticos, sino entender y optimizar las condiciones bajo las cuales se forman. Para ello, se emplean herramientas que permiten observar su crecimiento prácticamente en tiempo real, revelando cómo emergen estas estructuras diminutas y qué formas adoptan: pirámides, lentes o configuraciones más complejas (Figura 6).

Si regresamos al punto de partida de este ensayo, aquel ente abstracto sin dimensiones, encontramos un contraste fascinante: en el laboratorio, ese “punto” adquiere forma, tamaño y propiedades medibles. Y, aunque se trate de estructuras extraordinariamente pequeñas, su geometría puede determinarse con gran precisión, evidenciando cómo lo más diminuto puede ser también profundamente estructurado.

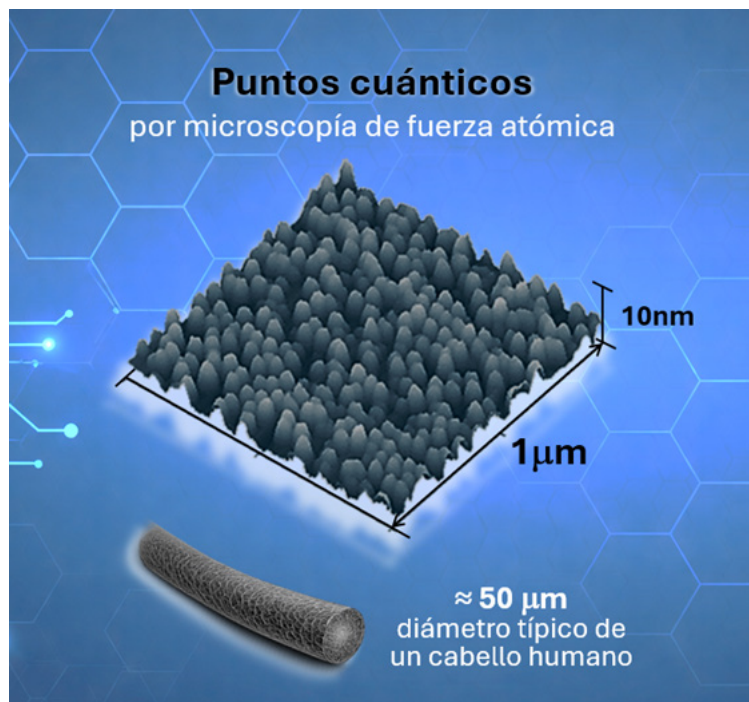


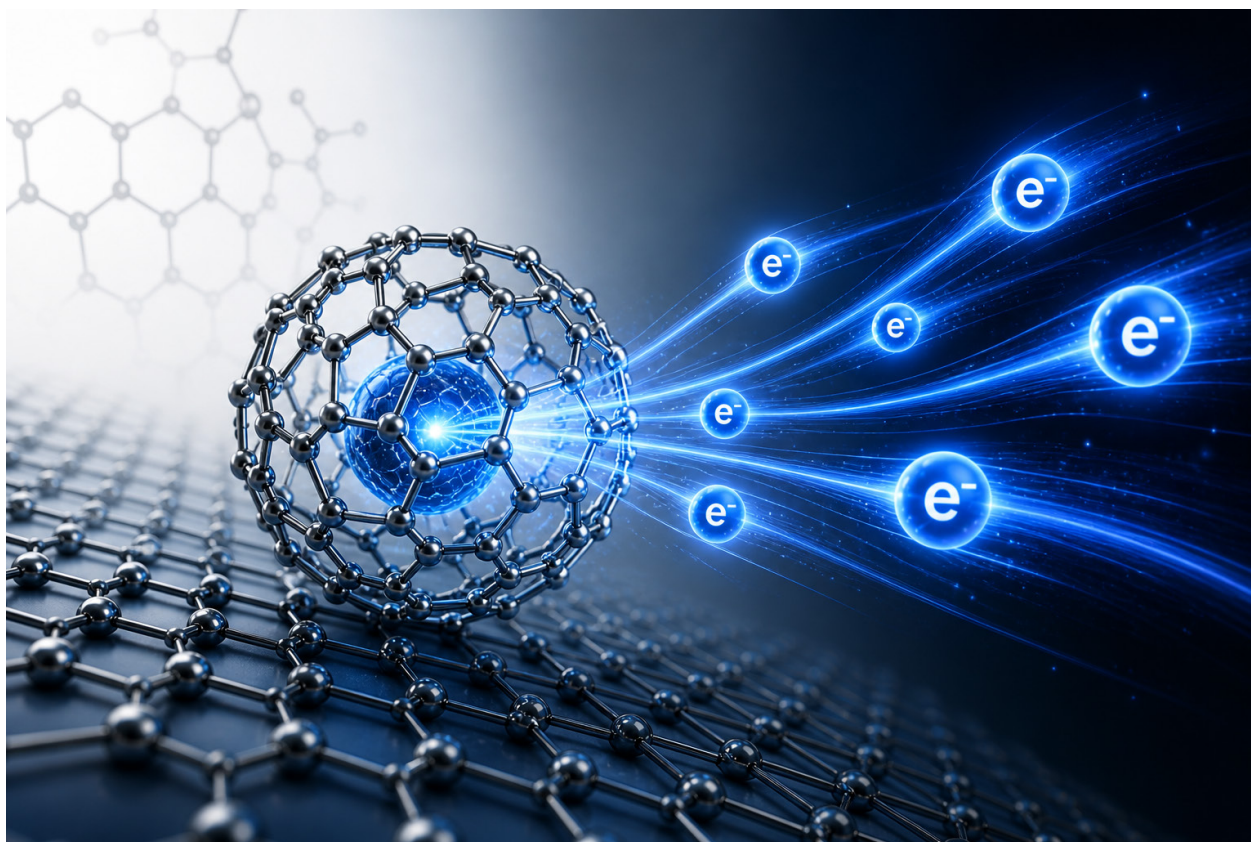
Figura 6. Imagen de microscopía de fuerza atómica (AFM) de puntos cuánticos autoensamblados. Estas nanoestructuras presentan tamaños del orden de decenas de nanómetros, muy por debajo del diámetro típico de un cabello humano (~50 μm). Si consideramos puntos cuánticos de aproximadamente 10 nm de diámetro, a lo largo del grosor de un cabello cabrían cerca de 5,000 de ellos uno junto a otro. Dentro de cada uno de estos diminutos conitos podríamos imaginar a la catarina atrapada. Esta comparación permite dimensionar la diminuta escala en la que opera la nanotecnología.

Estos avances forman parte de un esfuerzo más amplio dentro de la comunidad científica dedicada al estudio de materiales y nanoestructuras. En particular, temas como los aquí abordados son impulsados y difundidos por la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Materiales y Superficies (SMCTSM), que agrupa a investigadores y promueve el desarrollo de esta área en el país.

Y es aquí donde las nuevas generaciones tienen un papel fundamental. La nanotecnología, y en particular el estudio de sistemas como los puntos cuánticos, es un campo en plena expansión que demanda nuevas ideas, curiosidad y creatividad. Lo que hoy puede parecer complejo, lejano o incluso propio de la ciencia ficción, mañana puede convertirse en una herramienta cotidiana. En ese camino, no solo se trata de entender lo más pequeño, sino de aprender a controlarlo. Tal vez seas tú quien contribuya a dar ese siguiente paso, llevando ese “punto” —que comenzó como una idea abstracta— hacia nuevas formas de tecnología que aún están por descubrirse.

REFERENCIAS:

- (1) National Geographic en Español. 2023, ¿Qué es la teoría cuántica? National Geographic Latinoamérica. <https://www.nationalgeographicla.com/ciencia/2023/02/que-es-la-teoria-cuantica>
- (2) Cultura Científica. 2020, El principio de incertidumbre cuantitativamente. . Experiencia Docet. <https://culturacientifica.com/2020/01/21/el-principio-de-incertidumbre-cuantitativamente>
- (3) Mendez-Garcia V.H., Espinosa-Vega L.I., Cortes-Mestizo I.E. 2023, Crecimiento cristalino: un proceso fascinante. Universitarios Potosinos, volumen 22 No. 275, paginas 1-7.



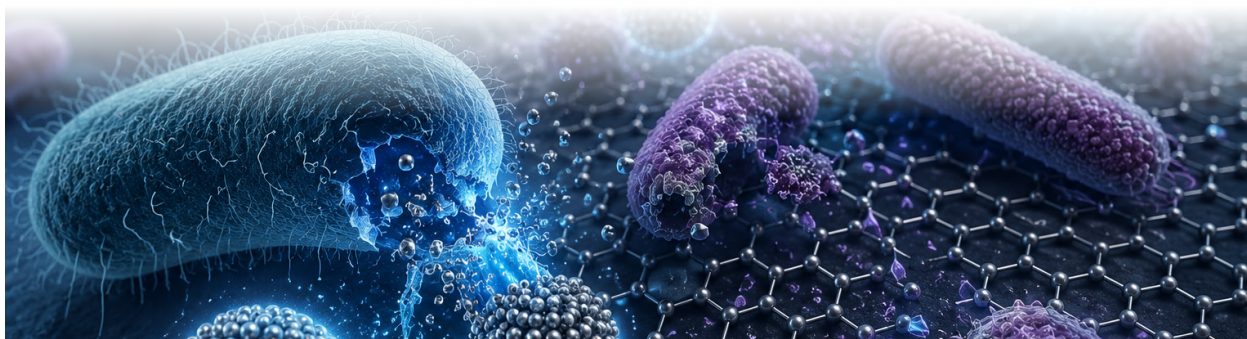
ENTRE PATÓGENOS Y EL MICROBIOMA: ¿CÓMO DISEÑAR NANOMATERIALES ANTIMICROBIANOS MÁS ESPECÍFICOS?

Roberto Vázquez Muñoz

School of Dental Medicine, University of Connecticut

Health Center; Farmington, CT; EE.UU.

VazquezMunoz@uchc.edu



RESUMEN

Las enfermedades infecciosas siguen siendo un desafío importante para la salud pública, en parte por la aparición de nuevos patógenos y por el aumento de la resistencia a los tratamientos antimicrobianos. En este contexto, los nanomateriales antimicrobianos han despertado gran interés por su capacidad para dañar microorganismos, potenciar otros agentes antimicrobianos y participar en sistemas de liberación más localizada. Sin embargo, no todos los microbios son enemigos: el cuerpo humano convive con comunidades microbianas que contribuyen a la digestión, la inmunidad y la protección frente a infecciones. Por ello, surge una pregunta clave: ¿cómo diseñar nanomateriales capaces de combatir patógenos sin alterar de manera innecesaria el microbioma? La evidencia disponible, concentrada sobre todo en estudios de exposición oral y microbiota intestinal, sugiere que los efectos de estos materiales dependen de factores como su composición, tamaño, dosis, recubrimiento y vía de exposición. Aunque todavía faltan más estudios en humanos, el panorama actual apunta a una meta clara: desarrollar nanomateriales antimicrobianos más específicos, mejor evaluados y más compatibles con el equilibrio microbiano que sostiene nuestra salud.

PALABRAS CLAVE: nanomateriales antimicrobianos, enfermedades infecciosas, microbioma

UN ENEMIGO REAL, UNA SOLUCIÓN PROMETEDORA

Las enfermedades infecciosas pueden ser causadas por virus, bacterias, hongos y protozoarios (llamados patógenos). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, estas enfermedades se encuentran entre las principales causas de muerte a nivel mundial, por lo que siguen siendo un reto importante para la salud pública (Figura 1). Entre los principales desafíos para combatirlas están la evolución de nuevos patógenos, como el virus SARS-CoV-2 (causante de la pandemia de COVID-19), y la creciente dificultad para tratar muchas infecciones, debido a la capacidad de los microorganismos para desarrollar resistencia a los tratamientos (1).



Figura 1. Principales causas de muerte en el mundo en 2021. Las causas infecciosas o transmisibles se muestran en azul; los valores se expresan en millones de muertes. Datos de la Organización Mundial de la Salud, actualización del 2024.

Ante ese panorama, la búsqueda de nuevas estrategias antimicrobianas se ha vuelto una prioridad. Entre las alternativas que han despertado más interés se encuentran los nanomateriales antimicrobianos: materiales tan pequeños que su tamaño, forma y superficie les confieren propiedades distintas a las de los materiales convencionales. Gracias a esas

características, algunos pueden dañar membranas microbianas, liberar iones metálicos, favorecer la generación de moléculas altamente reactivas o incluso potenciar el efecto de agentes antimicrobianos ya existentes (Figura 2) (2).

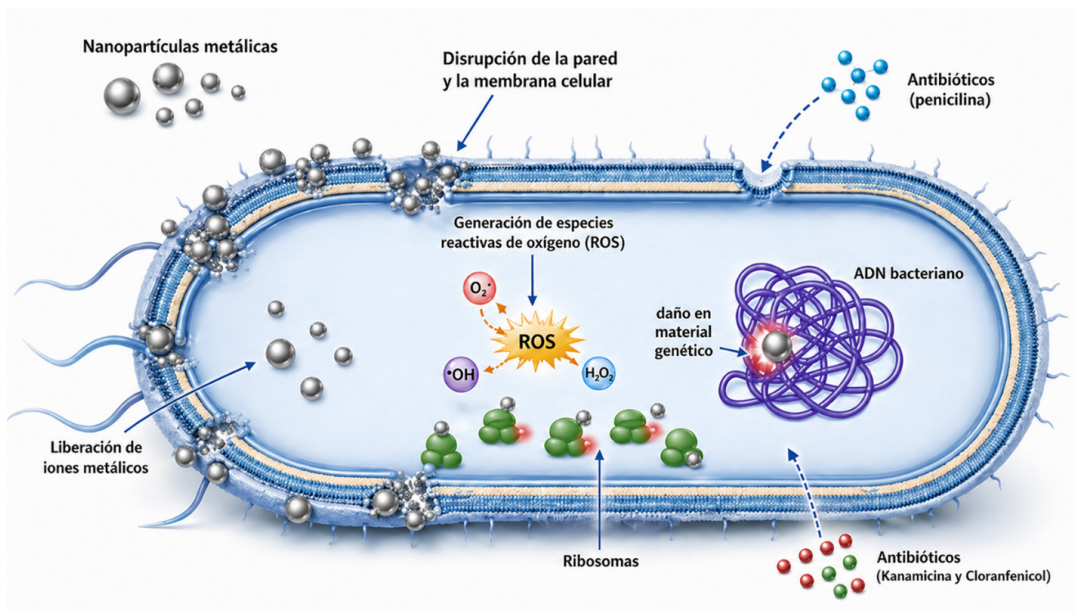


Figura 2. Ejemplo de mecanismos antimicrobianos de nanopartículas metálicas, tales como las nanopartículas de plata. Las nanopartículas metálicas pueden dañar la pared y membrana celulares microbianas, producir moléculas oxidantes (especies reactivas de oxígeno) y afectar el material genético. Los mecanismos antimicrobianos de las nanopartículas pueden facilitar la entrada o eficacia intracelular de algunos antibióticos, tales como la kanamicina y el cloranfenicol (que actúan sobre los ribosomas bacterianos), potenciando su efecto antimicrobiano.

¿QUÉ TIENEN DE ESPECIAL LOS NANOMATERIALES ANTIMICROBIANOS?

Lo que vuelve especiales a los nanomateriales antimicrobianos no es solo su tamaño, sino lo que ese tamaño les permite hacer. A escala nanométrica (típicamente menor a 100 nanómetros), la superficie del material cobra un papel mucho más importante del de partículas de tamaños más grandes, y eso puede modificar la forma en que las nanopartículas interactúan con bacterias, hongos, tejidos o moléculas terapéuticas. En la práctica, esto significa que un mismo material puede diseñarse para

actuar de distintas maneras: para dañar a los microorganismos en su superficie, o para incorporarse al microorganismo mediante un recubrimiento o funcionar como vehículo que libere un fármaco donde más se necesita.

Esa versatilidad explica por qué se estudian los nanomateriales en contextos tan distintos. Algunos se incorporan en superficies y recubrimientos con actividad antimicrobiana para reducir la colonización

microbiana; otros se integran en materiales poliméricos que pueden formar películas o materiales compuestos útiles en productos de salud (3, 4). Fuera del ámbito clínico, también se exploran empaques activos para alimentos, donde no solo se busca prolongar la conservación, sino también limitar la contaminación microbiana. En paralelo, los nanosensores aprovechan propiedades de los nanomateriales para detectar patógenos, toxinas o cambios asociados con el deterioro y la contaminación (3).

Otra característica importante es su capacidad para participar en sistemas de liberación controlada. En lugar de distribuir un compuesto antimicrobiano de forma amplia y poco precisa, algunos nanomate-

riales pueden ayudar a concentrarlo en el sitio de interés y liberarlo de manera más localizada o gradual. Esa idea resulta especialmente atractiva en infecciones difíciles, porque apunta a una medicina más dirigida: no solo más potente, sino también más precisa.

Por esta razón los nanomateriales antimicrobianos generan tanto entusiasmo: no representan una sola tecnología, sino una plataforma flexible. Pueden adaptarse a superficies, dispositivos, empaques, sensores y formulaciones terapéuticas, dentro y fuera del ámbito clínico, con la esperanza de ofrecer intervenciones más eficaces contra microorganismos patógenos y, en algunos casos, contra bacterias resistentes (3, 4).

NO TODOS LOS MICROBIOS SON ENEMIGOS

Cuando pensamos en microbios, lo primero que suele venir a la mente son enfermedades y suciedad. Pero esa imagen está incompleta. Aunque algunos microorganismos sí son patógenos, muchos otros forman parte normal de nuestro cuerpo y conviven con nosotros todos los días. A ese conjunto de microorganismos que habita un ambiente específico, como el intestino o la piel, se le llama la microbiota. Por otro lado, el término microbioma suele usarse para hablar no solo de esos microbios, sino también de sus genes y de las funciones que desempeñan en ese entorno (5). De manera general, la microbiota suele encontrarse en las superficies mucosas, como la intestinal y oral (boca), por lo que estas son las principales zonas de interacción entre la microbiota y el hospedero.

Los miembros de la microbiota no son simples pasajeros: son fundamentales para nuestra salud y para el funcionamiento adecuado del cuerpo. En el intestino, por ejemplo, participan en la digestión de compuestos que nuestro organismo no puede procesar por sí solo, producen moléculas que influyen en el metabolismo y contribuyen al funcionamiento del sistema inmunitario. También forman parte de una barrera biológica: al ocupar espacio y consumir recursos, dificultan que ciertos patógenos puedan colonizar el cuerpo, lo que nos protege de infecciones (Figura 3). Por eso, hablar de “microbios” como si todos fueran peligrosos no solo es incorrecto, sino que oculta una realidad más interesante: buena parte de nuestra vida cotidiana depende de esa convivencia invisible (6, 7).

Esa distinción importa mucho cuando hablamos de estrategias antimicrobianas. Si una tecnología está diseñada para eliminar microorganismos, la pregunta ya no es solo qué tan bien destruye a un patógeno, sino también a qué otros miembros de esa comunidad podría afectar en el proceso. En otras palabras, el reto no es únicamente combatir a los microbios peligrosos, sino hacerlo sin desestabilizar a los que ayudan a mantener el equilibrio del organismo.

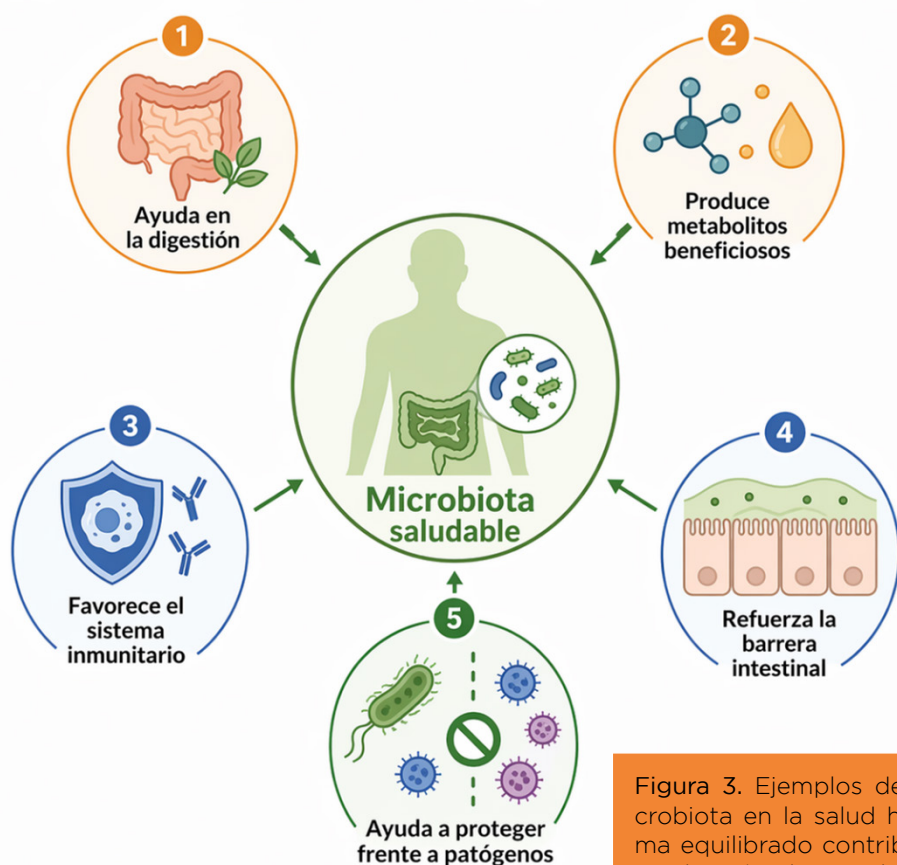


Figura 3. Ejemplos de funciones de la microbiota en la salud humana. Un microbioma equilibrado contribuye a la digestión, la producción de metabolitos beneficiosos, el mantenimiento de la barrera intestinal, la modulación del sistema inmunitario y la protección frente a patógenos.

UNA PREGUNTA INCÓMODA PERO NECESARIA: ¿QUÉ PASA CON EL MICROBIOMA CUANDO SE COMBATE UNA INFECCIÓN CON NANOMATERIALES?

Aquí aparece una pregunta que durante mucho tiempo recibió menos atención que la eficacia antimicrobiana: si un nanomaterial está diseñado para matar, inhibir o desestabilizar microorganismos, ¿cómo asegurarnos de que su acción no alcance también a comunidades microbianas benéficas? La pregunta importa porque muchas funciones esenciales para la salud física y mental dependen, al menos en parte, de los microorga-

nismos que habitan el intestino, la boca y otras partes del cuerpo (6). Por eso, una estrategia antimicrobiana también puede generar, en ciertas circunstancias, efectos no deseados sobre ese equilibrio, afectando a nuestra salud.

Esto no significa que todos los nanomateriales antimicrobianos dañen automáticamente al microbioma, ni que cualquier cambio observado sea necesariamente perjudicial. Lo importante es que ya no basta con preguntar si un material elimina patógenos; ahora también hay que preguntar a qué otros microorganismos afecta, por cuánto tiempo, en qué dosis y si sus efectos dependen de la ruta de exposición. La evidencia reciente sugiere justamente eso: los efectos sobre la microbiota pueden depen-

der del tipo de nanomaterial, su composición, tamaño, recubrimiento, concentración y vía de entrada al organismo (8).

Visto así, el problema deja de ser solo microbiológico y se vuelve también un asunto de la relación entre los microorganismos y el cuerpo que habitan. Un nanomaterial antimicrobiano ideal no debería ser simplemente “muy eficaz”, sino lo bastante preciso como para actuar donde se necesita sin alterar innecesariamente el equilibrio microbiano del organismo. Esa es la tensión que atraviesa el uso de los nanomateriales antimicrobianos: la misma tecnología que promete ayudarnos a combatir infecciones también nos obliga a pensar mejor en los microorganismos que queremos conservar (8).

LO QUE SABEMOS HASTA AHORA

Hasta ahora, la evidencia más consistente sobre la interacción entre nanomateriales y microbioma se concentra en el intestino. Esto se debe a que la exposición oral es una de las rutas más comunes y estudiadas, especialmente en investigaciones sobre alimentos, aditivos, empaques, formulaciones farmacéuticas y otros materiales que pueden entrar en contacto con el sistema digestivo. Por ello, gran parte de los datos disponibles sobre el impacto de los nanomateriales en comunidades microbianas benéficas proviene de estudios de laboratorio y en animales (9).

También sabemos que no existe un efecto único. Los cambios observados dependen del tipo de material, su composición, tamaño, dosis, duración de la exposición, vía de entrada al organismo y, en muchos casos, de su recubrimiento o formulación. En algunos estudios se reportan alteraciones en la abundancia de ciertos grupos bacterianos; en otros, los efectos son más discretos o varían según el contexto experimental (10). Además, empiezan a aparecer datos de que el impacto no se limita a qué microorganismos están presentes, sino también a lo que ocurre funcionalmente dentro del ecosistema intestinal. En estudios con animales, la administración oral de nanopartículas se ha asociado con cambios en el microbioma y en moléculas relacionadas con su actividad metabólica. Al mismo tiempo, la discusión actual ya no gira solo en torno a la diversidad bacteriana, sino también a su posible impacto sobre la inmunidad de mucosas como la oral y la intestinal (Figura 4).

Sin embargo, todavía faltan piezas importantes. La mayoría de los datos sigue viniendo de modelos experimentales, y aún no contamos con suficientes estudios en humanos ni con criterios ampliamente aceptados para decidir cuándo un cambio en el microbioma representa un daño real y cuándo puede ser transitorio, adaptativo o poco relevante

para la salud. Ese es, quizá, uno de los mayores retos del campo: pasar de detectar alteraciones a entender su significado biológico.

Figura 4. Posibles efectos de los nanomateriales sobre la microbiota intestinal y las mucosas

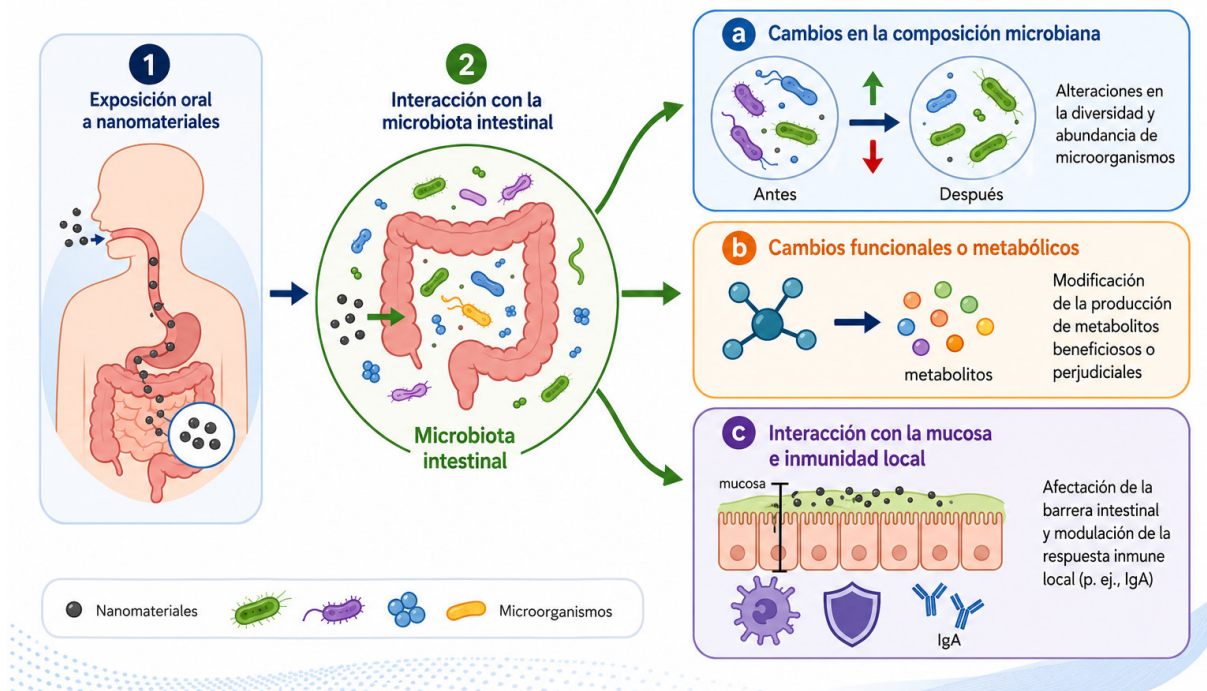


Figura 4. Efectos reportados de los nanomateriales sobre la microbiota intestinal y las mucosas. Tras la exposición oral, los nanomateriales pueden interactuar con la microbiota intestinal y asociarse con cambios en la composición microbiana, alteraciones funcionales o metabólicas y modificaciones de la mucosa y de la respuesta inmune local.

HACIA NANOMATERIALES ANTIMICROBIANOS MÁS PRECISOS Y MÁS SEGUROS

La investigación científica reciente deja claro que el futuro de los nanomateriales antimicrobianos no depende solo de que sean más potentes, sino de que sean más precisos. En otras palabras, el objetivo ya no debería ser diseñar materiales que eliminen microorganismos de manera indiscriminada, sino sistemas capaces de actuar donde realmente se necesitan, durante el tiempo necesario y con la menor perturba-

ción posible del resto del entorno biológico. Esa lógica ha impulsado el interés por estrategias de liberación localizada y por materiales que respondan a señales del propio sitio de infección.

Una de las rutas más prometedoras es el desarrollo de nanomateriales sensibles al entorno. Algunas plataformas pueden activarse o cambiar su comportamiento

ante variaciones de pH, temperatura, luz, ultrasonido o campos magnéticos. La idea es sencilla, aunque tecnológicamente ambiciosa: que el material permanezca relativamente inactivo fuera del sitio de interés y que despliegue su efecto antimicrobiano solo cuando encuentra las condiciones adecuadas. En principio, eso podría ayudar a reducir exposiciones innecesarias y acercarnos a intervenciones más selectivas.

La búsqueda de precisión también obliga a ampliar la manera en que evaluamos la seguridad. Durante mucho tiempo, la pregunta central fue si un material funcionaba contra el patógeno. Hoy esa pregunta sigue siendo importante, pero ya no es suficiente. También importa si altera comunidades microbianas benéficas, si modifica metabolitos relevantes o si interfiere con la inmunidad de mucosas, es decir, de superficies del cuerpo como la boca o el intestino, donde interactúan el organismo, los microorganismos y muchos materiales administrados por vía oral, nasal o tópica. Por eso, la investigación reciente insiste en que la seguridad de estos sistemas debería analizarse no solo desde la toxicidad clásica, sino también desde su

impacto sobre el microbioma y sobre la relación entre los microorganismos y el cuerpo.

Visto así, el diseño de nanomateriales antimicrobianos más seguros no empieza al final del proceso, cuando el material ya está hecho, sino desde el principio. La idea de seguridad desde el diseño propone incorporar desde etapas tempranas criterios de eficacia, exposición y riesgo, en lugar de dejar la evaluación para después. En paralelo, también está creciendo el interés por nuevas metodologías que complementen o reduzcan la dependencia de modelos animales y permitan estudiar con más detalle cómo se comportan estos materiales en sistemas biológicos complejos.

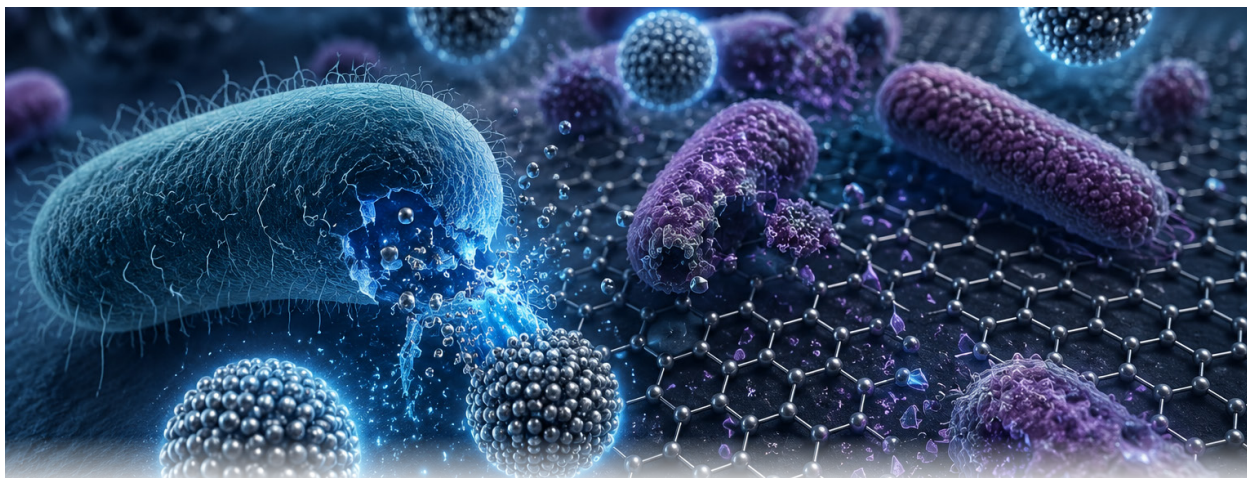
Todo esto tiene una consecuencia práctica: si queremos nanomateriales antimicrobianos realmente útiles, no bastará con demostrar que matan bacterias. Hará falta demostrar que lo hacen con la especificidad suficiente, con perfiles de exposición razonables y con criterios de seguridad que incluyan al microbioma como parte del sistema que queremos proteger. Más que abandonar esta tecnología, el reto es aprender a diseñarla con mayor inteligencia biológica.

MIRAR AL FUTURO SIN ALARMISMO

Los nanomateriales antimicrobianos son una herramienta en desarrollo, con un enorme potencial para ayudar a enfrentar infecciones difíciles, limitar la propagación de patógenos y ampliar el repertorio de estrategias contra microorganismos resistentes. Pero precisamente porque son prometedores, también exigen una mirada más cuidadosa sobre sus efectos dentro de sistemas biológicos complejos como el cuerpo humano.

El reto no es abandonar esta tecnología, sino aprender a desarrollarla con mayor precisión y responsabilidad. En lugar de preguntarnos solo qué tan eficaces son para eliminar patógenos, cada vez será más importante preguntarnos qué tan selectivos son, qué otros microorganismos pueden afectar y cómo evaluar sus consecuencias a largo plazo.

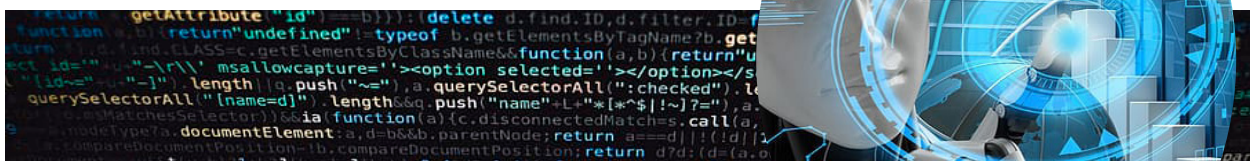
En el futuro, los materiales más valiosos probablemente serán aquellos capaces de actuar donde se necesitan, durante el tiempo necesario y con el menor impacto posible sobre el microbioma del cuerpo. Ese equilibrio entre eficacia antimicrobiana y cuidado del ecosistema microbiano que nos habita será una de las claves para que estas soluciones cumplan su promesa sin generar nuevos problemas.



REFERENCIAS

- (1) Organización Mundial de la Salud. (7 de agosto de 2024). Las diez causas principales de defunción. Organización Mundial de la Salud.
- (2) Vazquez-Muñoz, R., Meza-Villezcás, A., Fournier, P. G. J., Soria-Castro, E., Juárez-Moreno, K., Gallego-Hernández, A. L., Bogdanchikova, N., Vazquez-Duhalt, R., y Huerta-Saquero, A. (8 de noviembre de 2019). Enhancement of antibiotics antimicrobial activity due to the silver nanoparticles impact on the cell membrane. PLOS ONE, 14(11), e0224904.
- (3) Butler, J., Handy, R. D., Upton, M., y Besinis, A. (7 de abril de 2023). Review of Antimicrobial Nanocoatings in Medicine and Dentistry: Mechanisms of Action, Biocompatibility Performance, Safety, and Benefits Compared to Antibiotics. ACS Nano, 17(8), 7064-7092.
- (4) Vazquez-Munoz, R., y Lopez-Ribot, J. L. (2020). Nanotechnology as an Alternative to Reduce the Spread of COVID-19. Challenges, 11(2), 15.
- (5) Centers for Disease Control and Prevention. (1 de abril de 2026). About Microbial Ecology. Centers for Disease Control and Prevention.
- (6) Vazquez-Munoz, R., Thompson, A., Sobue, T., y Dongari-Bagtzoglou, A. (6 de septiembre de 2023). A prebiotic diet modulates the oral microbiome composition and results in the attenuation of oropharyngeal candidiasis in mice. Microbiology Spectrum, 11(5), e01734-23.
- (7) Yong, E. (2017). Yo contengo multitudes. Barcelona, España: Debate.
- (8) Ghebretatios, M., Schaly, S., y Prakash, S. (16 de febrero de 2021). Nanoparticles in the Food Industry and Their Impact on Human Gut Microbiome and Diseases. International Journal of Molecular Sciences, 22(4), 1942.
- (9) Yang, L., Hung, L. Y., Zhu, Y., Ding, S., Margolis, K. G., y Leong, K. W. (20 de julio de 2022). Material Engineering in Gut Microbiome and Human Health. Research, 2022, 9804014.
- (10) Wojciechowska, O., Costabile, A., y Kujawska, M. (18 de octubre de 2023). The gut microbiome meets nanomaterials: exposure and interplay with graphene nanoparticles. Nanoscale Advances, 5(23), 6349-6364.

¿QUIÉN ESTÁ ESCRIBIENDO?



María Isabel Pérez Montfort
 Centro de Nanociencias y Nanotecnología,
 Universidad Nacional Autónoma de México
 miperez@ens.cnyn.unam.mx

No cabe duda de que vivimos inmersos en la era de la inteligencia artificial. Por su novedad y su enorme alcance, esta tecnología ha colocado a quienes escribimos en una situación, digamos, un tanto desconcertante. Por un lado, nos facilita la vida al resolver problemas con gran rapidez; por otro, abre preguntas profundas y, a veces, inquietantes.



Como bien sabemos, el lanzamiento público de herramientas como ChatGPT en noviembre de 2022 despertó un gran interés entre la población. Junto con ese entusiasmo también surgió una sospecha, no del todo infundada: la posibilidad de que la inteligencia artificial llegue a sustituir al ser humano en diversas funciones, aunque aún no sabemos en cuántas ni en cuáles. De ahí emergen debates sobre honestidad, ética, autenticidad y nuestra creciente dependencia de las máquinas.

En un inicio, especialmente dentro del ámbito académico y científico, predominó cierto recelo. Se decía que la IA no siempre es confiable, que puede cometer errores, inventar datos o reflejar sesgos, y que incluso podría amenazar la creatividad humana. Por ello, muchas personas dudaban en aceptarla como una herramienta legítima de apoyo en sus tareas.



Sin embargo, con el paso del tiempo, la inteligencia artificial ha ido ganando un lugar relevante en distintos aspectos de la producción escrita: desde la organización de ideas y la mejora de la redacción, hasta la elaboración de resúmenes, traducciones y respuestas a preguntas. Incluso, para algunas personas, se ha convertido en un interlocutor en la solución de dudas cotidianas.

Naturalmente, este fenómeno no se ha detenido ahí. Hoy en día, numerosos manuscritos publicados en todo el mundo cuentan con algún grado de participación de la IA, lo que ha generado preocupación en distintas editoriales, incluidas las de contenido científico (European Journal of Pain, <https://doi.org/10.1002/ejp.4736>).



La confiabilidad, los sesgos y las llamadas “alucinaciones” de estos sistemas han motivado advertencias en revistas de alto prestigio (Nature, <https://www.nature.com/articles/d41586-026-00969-z>).

En respuesta, varias editoriales científicas han establecido políticas sobre el uso de la inteligencia artificial. Estas van desde solicitar que los autores declaren su uso, hasta prohibirlo por completo en ciertos contextos.

Diversas editoriales han atendido las recomendaciones de la Comisión de Ética en la Publicación (COPE), una organización internacional que promueve la integridad y las buenas prácticas en la publicación académica. Entre sus lineamientos destaca como principios éticos que los autores declaren de manera explícita si han utilizado herramientas de IA, ya sea en la redacción, en la generación de imágenes o en el análisis de datos, especificando cómo y para qué se emplearon. Esta información debe incluirse en la metodología, en los agradecimientos o al calce de un manuscrito (COPE, <https://doi.org/10.24318/cCVRZBms>).

La divulgación científica promueve una comprensión más profunda y, al mismo tiempo, crítica de la ciencia contemporánea, con el propósito de contribuir al bienestar social e impulsar una relación más consciente con el entorno y con la vida en el planeta. En este contexto, la IA debe asumirse como una herramienta al servicio de estos objetivos, y no como un sustituto de la mirada ni del criterio humanos.



DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

COMPRENDER, CUESTIONAR, TRANSFORMAR.

Promueve una comprensión más profunda y, al mismo tiempo, crítica de la ciencia contemporánea, con el propósito de contribuir al bienestar social e impulsar una relación más consciente con el entorno y con la vida en el planeta.

BIENESTAR SOCIAL

RELACIÓN CONSCIENTE

CUIDADO DEL PLANETA

LA IA COMO HERRAMIENTA AL SERVICIO DE GRANDES OBJETIVOS

La IA debe asumirse como una herramienta al servicio de estos objetivos, y no como un sustituto de la mirada ni del criterio humanos.

COLABORACIÓN HUMANO - IA

CONCIENCIA CRÍTICA ÉTICA

COMPRENDER

CUESTIONAR

DIALOGAR

TRANSFORMAR

CIENCIA QUE ILUMINA, SOCIEDAD QUE AVANZA.

VOLUMEN 1, NÚMERO 1

Conviene recordar que la capacidad humana de imaginar, cuestionar y proponer ideas originales sigue siendo insustituible. La ciencia avanza precisamente gracias a ese rasgo humano de buscar la respuesta a nuevas preguntas que la IA no tiene la capacidad de formular.

Una revista como Átomo x Átomo no es ajena a la IA y no se opone a su uso — sería poco realista hacerlo—, pero sí considera fundamental la transparencia y el apego a los principios éticos correspondientes*.

*Este texto contó con apoyo de inteligencia artificial (ChatGPT) para la corrección de estilo y redacción.

PREMIOS SMCTSM: JÓVENES TALENTOS Y TRAYECTORIAS CONSOLIDADAS EN CIENCIA DE MATERIALES

La Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales (SMCTSM) reconoció este año trabajos sobresalientes que reflejan tanto la solidez de trayectorias científicas como la innovación de nuevas generaciones.

El Premio a la Trayectoria Científica “Francisco Mejía Lira” fue otorgado al Dr. Víctor Hugo Méndez García, investigador del CIACyT-UASLP. Obtuvo el doctorado en Física, con especialidad en Física del Estado Sólido, en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), México, en 1999, y ha realizado estancias de investigación en Japón. Actualmente se desempeña como investigador titular, donde participa activamente en la formación de recursos humanos y en el desarrollo de proyectos en nanociencia y nanotecnología.

Su investigación se centra en sistemas cuánticos semiconductores, en particular puntos cuánticos y nanohilos autoensamblados. Ha abordado su crecimiento mediante epitaxia de haces moleculares, así como su caracterización *in situ* y en tiempo real. Sus contribuciones han sido clave para el entendimiento y control de los procesos de nucleación, orientados a la homogeneización de nanoestructuras 0D y 1D.

Sus líneas actuales incluyen el desarrollo de superredes de nanohilos, aleaciones altamente desajustadas y estructuras con aplicaciones en fotónica cuántica, optoelectrónica, dispositivos THz y energías renovables. Es autor de más de 130 artículos científicos y ha dirigido numerosas tesis de posgrado.



El Premio a la Mejor Tesis de Doctorado fue otorgado a Luis Ángel Alvarado Leal (Universidad Autónoma de Nuevo León) por su trabajo sobre la reacción de reducción de oxígeno en materiales gráficos modificados. Su investigación propone sustituir el costoso platino por catalizadores de átomo único anclados en grafeno, una estrategia clave para el desarrollo de tecnologías de energía limpia.



Uno de los hallazgos más relevantes es la identificación del magnetismo atómico como un descriptor fundamental para determinar si la reacción produce agua o peróxido de hidrógeno. Además, el estudio muestra que el entorno atómico local y el tamaño de las vacancias pueden activar metales tradicionalmente inertes. Con ocho publicaciones en revistas de alto impacto, este trabajo aporta criterios de diseño que podrían incidir en el desarrollo de celdas de combustible y baterías más eficientes.



En la categoría de Mejor Tesis de Maestría, Jackeline Navarro Rodríguez (Universidad Autónoma de Baja California) fue reconocida por el diseño y construcción de un sistema de depósito por capas atómicas (ALD). Esta tecnología permite fabricar materiales con precisión a escala atómica, capa por capa.

El sistema desarrollado no solo fue diseñado y construido desde cero, sino también automatizado y validado, logrando la deposición uniforme de películas delgadas semiconductoras y aislantes. Este tipo de infraestructura resulta fundamental para fortalecer la investigación en materiales avanzados en México y abre oportunidades en áreas como la electrónica y la energía.





El Premio al Mejor Póster reconoció dos contribuciones. Por un lado, Luis Ángel Alvarado Leal presentó un análisis de la adsorción de oxígeno en catalizadores de átomo único basados en grafeno dopado con nitrógeno, utilizando descriptores como la fuerza de reacción y el flujo electrónico.

Por otra parte, Jessica Surisadai Rodríguez Aguilar (UPIITA-IPN) mostró el crecimiento controlado de nanocolumnas de InAs sobre grafeno/Si, ajustando parámetros como el flujo de indio y arsénico para modular sus propiedades estructurales. Las dimensiones obtenidas permiten observar efectos de confinamiento cuántico, relevantes para aplicaciones en sensores y dispositivos optoelectrónicos.



En conjunto, estos reconocimientos muestran la vitalidad de la investigación en materiales en México, donde conviven propuestas innovadoras y trayectorias consolidadas que impulsan el desarrollo científico y tecnológico del país.



A. A. Saavedra-Romero^a, *, O. Soriano Romero^a
 and S. Carmona-Téllez^b.

^a Benemérita Universidad Autónoma de
 Puebla, Posgrado en Física Aplicada, Facultad
 de Ciencias Físico Matemáticas, Av. San
 Claudio y Av. 18 sur, Col. San Manuel Ciudad
 Universitaria, Puebla, Pue.,
 C.P. 72570, México

^b Secretaría de Ciencia, Humanidades,
 Tecnología e Innovación-Benemérita
 Universidad Autónoma de Puebla, Posgrado
 en Física Aplicada, Facultad de Ciencias Físico
 Matemáticas, Av. San Claudio y Av. 18 sur, Col.
 San Manuel Ciudad Universitaria, Puebla, Pue.,
 C.P. 72570, México

Autor de correspondencia:

A.A. Saavedra-Romero

Correo: *andres.saavedrarom@alumno.buap.mx

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la palabra radiación forma parte de nuestra vida cotidiana, ya sea a través de estudios médicos, tecnologías de comunicación o incluso películas y series de ciencia ficción. Sin embargo, para gran parte de la población el concepto sigue siendo poco comprendido, así como sus posibles implicaciones en la salud y el ambiente.

La radiación puede definirse como una forma de energía que se propaga a través de distintos medios (1). Esta energía proviene tanto de fuentes naturales como artificiales. Algunos ejemplos cotidianos incluyen la luz solar, las ondas de radio y televisión, así como diversas aplicaciones médicas e industriales.

Con la radiación tan presente en nuestra vida cotidiana, podría parecer que no representa riesgos significativos. Sin embargo, al igual que ocurre con muchos otros elementos de nuestro entorno, sus efectos dependen del tipo de radiación, la dosis y el tiempo de exposición.

Para comprender mejor esta idea, pensemos en una gota de agua que cae sobre nuestra cabeza: una sola gota no representa un problema, pero si cae de manera constante durante un periodo prolongado puede llegar a causar una lesión. De manera similar, los efectos de la radiación dependen de la intensidad y duración de la exposición.

La radiación suele clasificarse en dos grandes categorías: radiación ionizante y radiación no ionizante (2). La diferencia principal radica en la energía que posee la radiación y en si esta es suficiente para arrancar electrones de los átomos de la materia, provocando así su ionización. La

radiación ionizante tiene la capacidad de provocar este fenómeno, lo que puede generar cambios en materiales biológicos, incluyendo células y moléculas de ADN.

Esto no significa que cualquier exposición a la radiación sea necesariamente peligrosa. Bajo condiciones controladas, sus beneficios en medicina e industria son ampliamente conocidos. El problema surge cuando existe exposición no controlada a fuentes radioactivas o cuando fallan los sistemas de seguridad y supervisión.

La importancia de la seguridad radiológica puede observarse en distintos incidentes ocurridos tanto a nivel internacional como nacional. En México, diversos acontecimientos relacionados con contaminación radioactiva han evidenciado las consecuencias del manejo inadecuado de materiales radiactivos. Por ello, en este trabajo se presentan tres casos relevantes ocurridos en el país con el propósito de destacar la importancia de la regulación y la prevención.

2. ROBO DE FUENTE RADIOACTIVA EN 2023

El 18 de octubre de 2023, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) recibió el reporte del robo de un contenedor de radiografía industrial en el estado de Tabasco. En su interior se encontraba una fuente radioactiva de iridio-192 utilizada en aplicaciones industriales.

Aunque el contenedor está diseñado para aislar la fuente y evitar riesgos a la población, una manipulación inadecuada podía representar un peligro importante para la salud. Debido a ello, la CNSNS, en conjunto con otras dependencias federales, emitió una alerta pública y recomendó no acercarse ni manipular el dispositivo en caso de localizarlo.





Como parte de los protocolos de seguridad, se establecieron medidas preventivas y se desplegó un operativo de búsqueda con apoyo de autoridades estatales y federales. Finalmente, el 25 de octubre la fuente fue localizada en el municipio de Mezcalapa, Chiapas. De acuerdo con la información oficial, el contenedor no había sido abierto ni alterado.

Aunque este caso fue controlado sin consecuencias mayores, el incidente evidenció nuevamente la importancia de los sistemas de seguridad y del manejo adecuado de materiales radioactivos. Asimismo, mostró la necesidad de fortalecer la difusión pública sobre los riesgos asociados a este tipo de fuentes (5-6).

3. LECHE CONTAMINADA TRAS EL ACCIDENTE DE ACCIDENTE DE CHERNÓBIL

En 1986 ocurrió uno de los accidentes nucleares más graves de la historia en la Central Nuclear Vladimir Ilich Lenin, ubicada en Chernóbil, Ucrania. Durante una prueba en el reactor 4 se produjo un aumento descontrolado de potencia que ocasionó el sobrecalentamiento del núcleo y una explosión en el interior del reactor.

Como consecuencia, grandes cantidades de material radioactivo fueron liberadas a la atmósfera y se dispersaron en distintas regiones de Europa. En países como Irlanda, las lluvias favorecieron el depósito de este material sobre pastizales y zonas agrícolas, afectando productos como la leche.

Diversos reportes señalaron que parte de la leche en polvo exportada desde Europa presentaba niveles detectables de contaminación radiactiva. Mientras algunos países rechazaron estos productos, parte del cargamento fue posteriormente adquirido por México para programas de abasto social de la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO).

Entre 1986 y 1987, México importó aproximadamente 2,436 toneladas de leche en polvo asociada a este contexto de contaminación. Con el paso de los años, este episodio generó debate sobre los criterios de evaluación utilizados y sobre los posibles efectos en la salud pública. Sin embargo, la falta de seguimiento sistemático impide establecer conclusiones definitivas al respecto (7-8).



4. EL CASO DE LAS VARILLAS CONTAMINADAS

En 1983, el Centro Médico de Especialidades de Ciudad Juárez, Chihuahua, adquirió una unidad de teleterapia que contenía una fuente radioactiva de cobalto-60. Tiempo después, el equipo fue desmantelado sin seguir medidas adecuadas de seguridad radiológica.

Durante este proceso, la fuente fue retirada de su blindaje y transportada a un depósito de chatarra, donde el material contaminado terminó mezclándose con otros metales reciclados. Posteriormente, este material fue fundido y utilizado en la fabricación de varillas y productos de construcción distribuidos en distintas regiones de México.

El incidente fue descubierto cuando parte del material contaminado activó sistemas de monitoreo de radiación en Estados Unidos, particularmente en el estado de Nuevo México. A partir de ello, la CNSNS inició labores de rastreo y recuperación del material.

Aunque una parte importante fue localizada, miles de construcciones utilizaron varillas provenientes de estos lotes contaminados. Este acontecimiento se convirtió en uno de los casos más relevantes de contaminación radioactiva en México y evidenció la necesidad de fortalecer los protocolos de manejo, almacenamiento y disposición de materiales radiactivos (9-10).



5. COMENTARIOS FINALES

Los tres incidentes presentados en este trabajo son solo algunos ejemplos de los acontecimientos relacionados con exposición no controlada a la radiación que han ocurrido en la historia de México. Estos casos muestran la importancia de supervisar y regular adecuadamente el uso de materiales radiactivos, especialmente en una sociedad donde la radiación forma parte de múltiples actividades cotidianas, médicas e industriales.

Ante esta situación, la comunidad científica también ha asumido la tarea de comunicar a la población los riesgos asociados a la exposición no controlada a la radiación y sus posibles consecuencias. En particular, resulta importante fortalecer la difusión de este tema en México, donde todavía existe poco conocimiento al respecto.

Lo anterior no implica vivir en un estado constante de preocupación, sino promover una mayor conciencia sobre la presencia de la radiación en nuestra vida diaria y sobre la manera adecuada de actuar ante ella. Un ejemplo cotidiano es la exposición a la radiación ultravioleta proveniente del Sol. Aunque esta contribuye a la producción de vitamina D, una exposición excesiva puede causar daños a la salud, por lo que los médicos recomiendan medidas de protección como el uso de bloqueador solar y evitar periodos prolongados bajo la luz solar intensa.

Por ello, resulta fundamental informarnos adecuadamente sobre los riesgos y beneficios asociados a la radiación y, en caso de emergencia, seguir las recomendaciones emitidas por las instituciones reguladoras, como la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS).



Durante el proceso editorial se emplearon herramientas de inteligencia artificial para apoyar tareas de corrección de estilo, organización y mejora de claridad del texto. Los autores revisaron y aprobaron la versión final del manuscrito.

REFERENCIAS

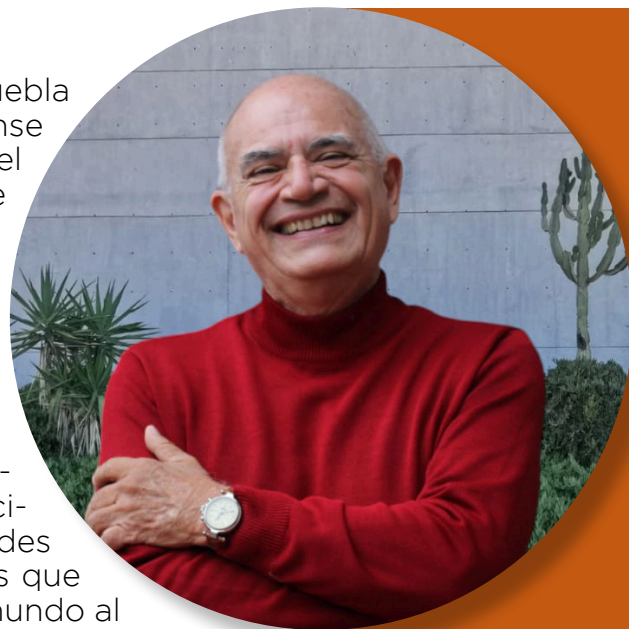
- (1) Galindo, A. A. (2024). *¿Qué es la radiación?* Viena, Austria: Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA). Consultado el 2 de mayo de 2026 desde: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-radiacion>
- (2) González-Sprinberg, G. y Robin-Lerman, C. (2011). Para entender las radiaciones. Montevideo, Uruguay: DIRAC.
- (3) Desouky, O., Ding, N. y Zhou, G. (2015). Targeted and non-targeted effects of ionizing radiation. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(2), pp. 247-254, <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.03.003>
- (4) Lang, P. F. y Smith, B. C. (2003). Ionization energies of atoms and atomic ions. *Journal of Chemical Education*, 80(8), 938-946.
- (5) Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS). (2023). Boletín oficial, 18 de octubre de 2023. Ciudad de México, México: Gobierno de México. Consultado el 2 de mayo de 2026 desde: <https://www.cnsns.gob.mx/boletines/boletnOficial18102023.pdf>
- (6) Pérez, F. M. (2023). Chiapas en alerta por fuente radiactiva tras el robo de un contenedor de radiografía industrial en Villahermosa, Tabasco. Ciudad de México, México: El Universal. Consultado el 2 de mayo de 2026 desde: <https://www.eluniversal.com.mx/estados/chiapas-en-alerta-por-fuente-radiactiva-tras-el-robo-de-un-contenedor-de-radiografia-industrial-en-villahermosa-tabasco/>
- (7) Carrillo Trueba, C. (1997). Leche radiactiva. Historia de una infamia. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado el 2 de mayo de 2026 desde: <https://www.revistacienciasunam.com/en/196-revistas/revista-ciencias-47/1865-leche-radiactiva-historia-de-una-infamia.html>
- (8) Navarrete, J. M., Martínez, T., & Cabrera, L. (2007). Comparative study between radioactive contamination in powder milk by Chernobyl accident (^{137}Cs) and natural radioactivity (^{40}K). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 272(2), pp. 277-279. DOI: 10.1007/s10967-007-0515-4
- (9) Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS). (1984). Accidente por contaminación con cobalto-60, México 1984. Ciudad de México, México: CNSNS.
- (10) Brooks, D. (2020). El “Chernóbil mexicano”: cómo ocurrió el mayor incidente nuclear de la historia de América, BBC News Mundo. Consultado el 2 de mayo de 2026 desde: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-54429012>.

SEMBLANZA EN MEMORIA

DR. ROBERTO MACHORRO MEJÍA

Noemi Abundiz Cisneros, Roberto Sanginés de Castro, Estrella Terán Hinojosa
Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Roberto Machorro Mejía, nacido en Puebla el 29 de marzo de 1950 y ensenadense por más de cuarenta años. Ensenada, el puerto donde vio su última luz el 20 de septiembre de 2025, fue también la ciudad donde construyó gran parte de su vida personal y profesional. Aquí deja colegas, amigos entrañables y muchas personas con las que convivió y a quienes, de una u otra manera, transformó la vida. Desde aquellos estudiantes a los que formó, los colaboradores de la academia a los que enriqueció con su conocimiento, hasta niños y niñas de comunidades rurales del municipio de Ensenada a los que intentó mostrar una visión distinta del mundo al ponerlos en contacto con la ciencia mediante experimentos muy simples, pero que para ellos significaba la posibilidad de hacer algo



diferente. Lo más importante de todo, fue esposo, padre y abuelo, siempre preocupado por el bienestar de su familia y que, a quienes no lo éramos, nos hacía sentir parte de ella. Tenía tres grandes pasiones, además de la ciencia: la fotografía, siempre preocupado de crear memorias; la carpintería, y la posibilidad de crear cosas; y, finalmente la lectura, un lector insaciable de todos los temas, por lo que siempre había algo de qué hablar con él.



Siempre fue un estudiante destacado, apartándose de la vida laboral de su familia, la cual estaba dedicada a la fabricación de telares en Puebla, su papá empresario tenía una fábrica y su mamá era ama de casa. Su pasión por la reparación de cosas y su entusiasmo en conocer el “por qué” de ellas, lo llevó a estudiar Física en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), posteriormente ingresó a la maestría en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), donde comenzó una larga lista de amigos entrañables. Fue el primer estudiante de doctorado de la Institución. La maestría la dirigió su “profe” el Dr. Alejandro Cornejo, uno de los primeros en dedicarse a la óptica geométrica. Antes de terminar la

maestría encontró el amor de su vida con su vecina de la infancia, María. Al casarse y terminar su maestría se vino al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) en busca de un asesor para dirigir su tesis, porque en el INAOE aún no había especialistas con experiencia para dirigir trabajos en esa área, ya que todos, en ese momento, eran investigadores jóvenes. Así conoció a Angus Macleod de la Universidad de Arizona, donde se lanzó a una travesía por los desiertos de Estados Unidos, sin beca y con dos hijos, Roberto y Mirely, a trabajar con filtros ópticos después de 10 años de trabajar en el CICESE. El Dr. Machorro siempre hablaba con admiración del Dr. Macleod hasta su fallecimiento en 2024.



Fue en Ensenada donde realizó la mayor parte de su producción científica y tecnológica. Primero en el CICESE (antes de irse a Arizona) y luego en el Laboratorio de Ensenada del Instituto de Física de la UNAM (a su regreso de Arizona), actualmente Centro de Nanociencias y Nanotecnología, institución donde laboró por más de 38 años.



De su labor como investigador destaca la publicación de más de 95 artículos en revistas indizadas, los cuáles han sido citados en más de 1500 ocasiones. También contribuyó con un capítulo en un libro, 40 artículos en memorias en extenso de congresos, presentó más de 150 trabajos en diversos congresos nacionales e internacionales e impartió más de 50 seminarios. La mayor parte de esta fructífera producción estuvo relacionada con investigaciones en ciencia de materiales; en particular en la caracterización óptica de materiales y los filtros interferenciales ópticos. Perteneció al Sistema de Nacional de Investigadores desde 1986 y en 2010 fue reconocido con el nivel III, el cual ostentó hasta el día de su fallecimiento. Recibió los premios “Daniel Malacara Hernández” otorgado por la Academia Mexicana de Óptica, de la cual fue miembro activo y el premio *Meisa por la Investigación Experimental* otorgado por la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales. También fue miembro de la Sociedad Mexicana de Física y de la *Optical Society of America* (actualmente OPTICA). Por otro lado, desde 2019, la Academia Mexicana de Óptica postula el premio a la mejor tesis doctoral experimental bajo el nombre “Roberto Machorro Mejía”.



Si algo caracterizó al Dr. Machorro fue su capacidad para diseñar instrumentos científicos que permitieron (y permiten en la actualidad) realizar caracterizaciones ópticas. Desde un medidor de reflectancia de ángulo y longitud de onda variables (1989) hasta la integración de un sistema de crecimiento de capas delgadas que permite la síntesis de recubrimientos complejos tales como los filtros ópticos inhomogéneos, cuyo índice de refracción varía de forma continua en la dirección de crecimiento de las diversas capas.

Este sistema, que integra la erosión iónica (*sputtering*) reactiva con la espectroscopía óptica de emisión del plasma, la elipsometría espectroscópica y el análisis en tiempo real de datos para la toma de decisiones, es único en el país y quizás existan pocos sistemas tan completos en el mundo. De 2014 a 2024, fue responsable de un proyecto del programa de Cátedras CONACyT (actualmente Investigadoras e Investigadores por México) cuyo objetivo fue automatizar el crecimiento de películas delgadas inhomogéneas, del cual se



desprendió la iniciativa del SAOMLab (www.saomlab.com), cuyo grupo de trabajo se ha especializado en el crecimiento de capas delgadas por diferentes técnicas, caracterización con espectroscopías ópticas, diseño y control de procesos. Su legado en este sentido aún perdura y actualmente es la principal línea de investigación del mencionado laboratorio en el CNyN-UNAM.

En cuanto a la formación de recursos humanos, dirigió tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Formó parte de numerosos comités de tesis e impartió incontables cursos formales frente grupo a nivel licenciatura y posgrado.

Su generosa personalidad cobra particular significado al reconocer su labor altruista, especialmente dedicada a los más desfavorecidos. El Dr. Machorro siempre se preocupó por divulgar la ciencia para mejorar la calidad de la educación de jóvenes y público en general, pues reconocía en la educación el único motor capaz de sacar al país no solo de la pobreza material, sino también de la pobreza intelectual. En 2008,

mediante proyectos de educación financiados por la UNAM (proyectos PA-PIME), inició esta importante labor de divulgación de la ciencia. Organizó un popular concurso de fotografía científica para estudiantes de preparatoria y universidad; más adelante, propuso un proyecto llamado “Chic@s solares” que llevó experimentos y demostraciones de física y astronomía a las escuelas rurales del municipio de Ensenada (www.tu-ciencia.org). Con este proyecto, el cual se pretende continuar como parte de su legado, se motiva a los niños de estas comunidades a que no abandonen sus estudios, divulgando la ciencia de una forma amena y divertida.

El Dr. Roberto Machorro Mejía (el *profe* Machorro, como muchos le decíamos) fue un gran científico, pero también fue un hombre de excelente calidad humana, de lo cual pueden dar cuenta sus estudiantes, colegas, compañeros de trabajo y su familia, que siempre fue su fuerza impulsora. Sirva esta breve semblanza para recordar su elevado valor como persona, como profesor y como científico.

SEMBLANZA EN MEMORIA

DR. STEPHEN MUHL

Sandra E. Rodil

Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México.

El Dr. Stephen Muhl Saunders, para todos simplemente “Steve” deja un legado científico y humano imborrable en el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM y en la comunidad académica de México. Nacido a pocos kilómetros de Boston—el original, en Inglaterra—, forjó unas sólidas bases académicas obteniendo su licenciatura en Física Aplicada y Electrónica, además de su maestría y doctorado (1978) en Física por el Lonsdale College de la Universidad de Lancaster. Sus estudios de posgrado los combinó con una intensa y formativa labor en el *Atomic Energy Research Establishment* (AERE) en Harwell, Reino Unido.

**PIONERO Y CONSTRUCTOR DE LA CIENCIA DE MATERIALES EN MÉXICO**

Desde su llegada a la UNAM en la Ciudad de México en 1978, Steve se convirtió en un pionero indispensable en los campos de películas delgadas, sistemas de vacío, tribología y plasmas, así como en sus aplicaciones tecnológicas tempranas, particularmente en celdas solares. En 1981 inició investigaciones visionarias en películas delgadas de silicio amorfo hidrogenado, trabajo que no solo derivó en las primeras de sus 11 patentes —desarrolladas en colaboración con investigadores de Estados Unidos, Reino Unido y México—, sino que marcó el inicio de su innegable vocación como formador de talento. La vida de Steve fue sacudida por el terremoto de magnitud 8.2 en 1987. Tras los daños a su hogar, aceptó la invitación del Dr. Arun Madan para dirigir la División de Investigación de Módulos Solares de Gran Área en *Glasstech Solar*, en Denver, Estados Unidos. Al regresar al IIM-UNAM tres años después, esa valiosa experiencia industrial catapultó la expansión de sus líneas de investigación hacia otros materiales.

INGENIERÍA, INSTRUMENTACIÓN Y LIDERAZGO

Las contribuciones individuales de Steve destacan por su excepcional capacidad para concebir, diseñar y construir equipos experimentales y de diagnóstico. Un ejemplo notable de su visión práctica frente a las limitantes económicas es el diseño y construcción de una fuente de poder para *High Power Impulse Magnetron Sputtering* (HiPIMS) en su propio laboratorio. Con un costo menor al 10% de un sistema comercial, logró un prototipo completamente funcional con el que se depositaron películas de óxido de aluminio.

Bajo su liderazgo se desarrollaron sistemas altamente innovadores, tales como:

- El *Cylindrical Hot Refractory Anode Vacuum Arc* (CHRAVA), un sistema novedoso que integró diagnóstico de plasma, perfilometría y espectroscopía, logrando altas tasas de depósito con una densidad excepcionalmente baja de macropartículas.
- El *Toroidal Planar Hollow Cathode* (TPHC), un diseño con el cual logró la generación controlada de nanopartículas y nanocompuestos de Bi, Al y Ti inmersos en una matriz de carbono amorfo.
- Un innovador sistema de pruebas tribológicas *pin-on-disk* operado en condiciones de ultra alto vacío.
- Un sistema de cuatro bolas para evaluar lubricantes a escala de laboratorio.

Su visión estratégica e integradora también abarcó la infraestructura institucional. Durante la huelga de la UNAM en 1999-2000, abanderó la iniciativa para que el IIM adquiriera un analizador químico XPS/UPS y un elipsómetro multiespectral.



En lo personal y profesional, atesoro profundamente el año 2003, cuando tuvimos la oportunidad de fundar juntos el grupo de Plasmas y Nanomateriales (Plas-NaMat), un proyecto que siempre llevará su impronta. Entre los equipos adquiridos, con sus muchos proyectos financiados, y aquellos contruidos, nuestro laboratorio siempre ha sido de los mejor equipados del IIM.

APORTES FUNDAMENTALES E IMPACTO GLOBAL

En el ámbito estricto de la ciencia, sus aportaciones establecieron referentes mundiales y desafiaron paradigmas. A mediados de los 90's se encaprichó con conseguir el muy famoso material súper duro que había sido predicho teóricamente (nitruro de carbono, C_3N_4) sobre el que posteriormente escribió un artículo de revisión. Esta valiosa contribución es el trabajo con mayor número de citas de toda su carrera.



Asimismo, nutriendo su curiosidad en largas charlas con Joe Greene (editor de *Thin Solid Films* y gran amigo), propuso una nueva explicación para el efecto de cátodo hueco que descartaba el tradicional modelo de “electrones pendulares”. Demostró que el fenómeno se explicaba mejor mediante un aumento exponencial en la producción de emisión de electrones secundarios inducida por iones debido a la presencia de iones Ar III.

Su experiencia fue ampliamente reconocida a nivel nacional, de tal manera que, reiteradamente, fue convocado como dictaminador de los proyectos de ciencia e ingeniería de materiales para el SECIHTI (antes CONACyT) y de los proyectos internos de la UNAM (PAPIIT). A nivel internacional, fue un pilar en la organización de numerosos eventos académicos; entre otros, activo promotor de la proyección internacional de la *International Conference on Surface, Materials and Vacuum* asociada a la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales. En 2014, impulsó la creación de la Red Temática en Ingeniería de Superficies y Tribología (REDISYT), dando vida al Simposio Nacional de Tribología, que ha acercado a cientos de estudiantes a las fronteras del conocimiento.

EL MENTOR Y LAS LECCIONES DEL ENIGMA

Las métricas de su carrera reflejan a un gigante: más de 135 publicaciones revisadas por pares, alrededor de 4100 citas, un índice h de 33 y la publicación de libros especializados. Sin embargo, su verdadero y más perdurable legado reside en las personas. Supervisó a 16 estudiantes de licenciatura, 14 de maestría, 10 de doctorado y fue mentor de más de 10 investigadores posdoctorales. Hoy estos estudiantes han formado grupos de trabajo independientes y son un pilar nacional en la síntesis de materiales utilizando métodos asistidos por plasma.

Steve era un maestro excepcional que utilizaba incluso la incertidumbre experimental como una herramienta pedagógica. Insistía en la importancia de entender los fundamentos físicos de las técnicas de control y diagnóstico de cada uno de los componentes de los sistemas de vacío (los diferentes medidores de presión, los controladores de flujo, las bombas, etc.) para así reconocer sus limitaciones y poder explicar, con rigor, las propiedades y características de los materiales producidos.



Despedimos a un pilar fundamental de la ciencia en la UNAM. Para quienes compartimos su laboratorio, sus interminables discusiones, su invaluable tutoría a lo largo de más de tres décadas y su amistad genuina, el Dr. Stephen Muhl seguirá presente en cada película delgada que sinteticemos, en cada plasma que encendamos y en cada estudiante que encuentre en la ciencia la misma pasión que él nos transmitió.



SUPERFICIES CON HISTORIA: 45 AÑOS DE PASIÓN POR LA CIENCIA EN MÉXICO

Eduardo Martínez Guerra¹ y María Leticia Pérez Arrieta²

¹Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Unidad Monterrey

²Unidad Académica de Física, Universidad Autónoma de Zacatecas

La Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales A. C. (SMCTSM) es una organización científica cuya historia refleja la constancia, la visión de futuro y el espíritu colaborativo de la comunidad investigadora en México. Nacida en el último cuarto del siglo XX, su trayectoria está íntimamente ligada al desarrollo de la física de superficies y sus aplicaciones tecnológicas en el país.

LOS ALBORES EN LA DÉCADA DE 1970

Los orígenes de la SMCTSM se remontan a la década de 1970, un periodo en el que diversos grupos de investigación, establecidos principalmente en la Ciudad de México, comenzaron a aglutinarse en torno al estudio de superficies. En ese entonces, existía el firme convencimiento de que la física de superficies e interfaces se consolidaría como una disciplina de gran impacto para el desarrollo de la nascente industria electrónica del estado sólido. Por este motivo, se impulsó la formación de grupos de investigación básica y aplicada, con la convicción de que estas áreas eran vitales para que México pudiera participar de manera competitiva en las industrias de alta tecnología.

LAS PRIMERAS REUNIONES Y EL PASO HACIA LA FORMALIZACIÓN (1981-1983)

Los antecedentes documentados más claros de este esfuerzo colectivo se sitúan a principios de la década de 1980. Inicialmente, se realizaban *Talleres de Superficies* en las reuniones de invierno organizadas por el Dr. Salvador Malo (Instituto Mexicano del Petróleo) y el Dr. Miguel José Yacamán (Instituto de Física de la UNAM).

Un hito fundamental que marcó el rumbo de la comunidad ocurrió en 1981, cuando ante la cancelación de aquellas reuniones invernales, el grupo del IFUNAM organizó un “Taller de Física de Superficies” en Oaxtepec, Morelos. Este evento se considera formalmente el Primer Congreso Nacional auspiciado de lo que más tarde se convertiría en nuestra

Sociedad. Durante este taller, se discutió ampliamente la necesidad de formar una sociedad científica especializada, por lo que se creó un comité provisional para elaborar los estatutos fundamentales y gestionar los aspectos legales pertinentes. En este contexto el Dr. José Luis Morán López (CINVESTAV-IPN) fue electo como el primer Presidente de la organización.

Gracias a estos cimientos, la nueva sociedad se consolidó rápidamente. En noviembre de 1982 se organizó en la ciudad de Puebla el 2º Congreso Nacional de Física de Superficies e Interfaces, simultáneamente con el II Simposio Latinoamericano de Física de Superficies (SLAFES). Este 2º Congreso Nacional contó con una concurrencia notable de investigadores y estudiantes.



LA FUNDACIÓN OFICIAL: SOCIEDAD MEXICANA DE CIENCIA DE SUPERFICIES Y VACÍO

El paso definitivo hacia la institucionalización jurídica se dio el 5 de octubre de 1983, cuando ante la notaría No. 91 del Distrito Federal, se protocolizó formalmente el acta constitutiva de la Sociedad Mexicana de Ciencia de Superficies y Vacío A. C. (SMCSV). El Dr. José Luis Morán López asumió de manera oficial las funciones como su primer presidente, acompañado por una mesa directiva fundadora integrada por Francisco Javier Tejeda Ruiz, Olga Leticia Pérez Ramírez, José Guadalupe Pérez Ramírez, Enrique Sironi Morelos y José Manuel Domínguez Esquivel.

En sus estatutos fundacionales, la Sociedad se propuso promover el desarrollo integral de la ciencia de superficies, la ciencia y tecnología del vacío y sus aplicaciones en áreas como la catálisis, la física de superficies sólidas e interfases, la oxidación y corrosión, las espectroscopías de superficies, la metalurgia y otros temas afines. También se estableció como propósito la organización de congresos científicos y la publicación regular de materiales especializados.

CRECIMIENTO CONTINUO: CONGRESOS, COLABORACIONES Y REVISTA

Desde sus inicios, la Sociedad ha cumplido con su misión organizando ininterrumpidamente congresos nacionales, talleres especializados y cursos cortos de actualización. A partir de 1986, estos esfuerzos se vieron reforzados gracias a la firma de un convenio de colaboración con la *American Vacuum Society* (AVS), que ha permitido a lo largo de estos años la participación activa de especialistas internacionales en nuestros eventos.

Para el año 2003, la Sociedad ya sumaba la realización de 22 Congresos Nacionales. La lista histórica de sedes elegidas a lo largo de las décadas refleja el carácter itinerante y nacional de la organización, abarcando geografías que van desde Oaxtepec, Puebla y Bahía Kino, hasta Monterrey, Cancún, Veracruz, Zacatecas, Mazatlán, Oaxaca, San Luis Potosí y muchas otras ciudades de la República.



En años más recientes (2009), con el fin de reflejar nuestra proyección global, los congresos pasaron a denominarse Congresos Internacionales de Superficies y Materiales (ICSMV), dando continuidad a la numeración de las ediciones previas. Esta adaptabilidad y fortaleza se pusieron a prueba durante los difíciles años de pandemia en 2020 y 2021; sin embargo, la SMCTSM no paró sus actividades. Nos adaptamos a la complicada situación mundial y logramos realizar con rotundo éxito nuestros congresos en formato virtual: el XIII ICSMV en 2020 con sede virtual en Monterrey, y el XIV ICSMV en 2021 con sede virtual aquí en Zacatecas. Gracias a esta resiliencia, el registro histórico y la labor ininterrumpida por más de cuatro décadas llegó con orgullo hasta la celebración del XVIII ICSMV que tuvo lugar en Puebla (2025).

A la par de este éxito en los eventos presenciales y virtuales, un logro editorial fundamental para nuestra comunidad fue la creación de la Revista *Superficies y Vacío*, cuyo primer volumen se publicó en 1989, gracias al impulso e iniciativa de destacados miembros como Jorge Rickards, Isaac Hernández Calderón y José Manuel Domínguez. La revista nació con el propósito fundamental de difundir los trabajos de investigación más relevantes presentados en nuestros congresos, logrando consolidarse con el paso del tiempo como un medio de referencia para la comunidad nacional e internacional.

LIDERAZGO Y PROYECCIÓN ACTUAL

A lo largo de su historia la Sociedad ha sido presidida por una lista de eminentes científicos que han guiado su desarrollo. Tras la gestión fundacional del Dr. José Luis Morán López (1983), la organización ha contado con una sucesión ininterrumpida de liderazgos hasta llegar al periodo 2025-2026, que se encuentra bajo la dirección de la Dra. María Leticia Pérez Arrieta.



Hoy en día, la SMCTSM se erige como una agrupación madura, sólida y ampliamente reconocida que continúa fomentando la investigación de frontera, la formación de recursos humanos de alto nivel y la vinculación estrecha con los sectores tecnológicos del país. Su historia, construida paso a paso desde aquellos talleres informales de la década de 1980, constituye un testimonio fehaciente del poder de la colaboración científica para sentar las bases del desarrollo tecnológico de un país.

Palabras clave: SMCTSM, historia de la ciencia en México, física de superficies, ciencia de materiales, vacío, congresos científicos.



SMCTSM: JÓVENES INVESTIGADORES

EL NACIMIENTO DE UN ESPACIO PARA LA NUEVA GENERACIÓN CIENTÍFICA

A. D. Alcantar-Mendoza¹,
M. del R. González-García¹,
E. A. Contreras²,
J. S. Rodríguez-Aguilar³

¹ Instituto Politécnico Nacional CIITEC,
Azcapotzalco, Ciudad de México 02250,
México

² Instituto Politécnico Nacional CINVESTAV
Zacatenco, Gustavo A. Madero,
Ciudad de México 07360, México

³ Instituto Politécnico Nacional UPIITA,
Gustavo A. Madero, Ciudad de México
07340, México

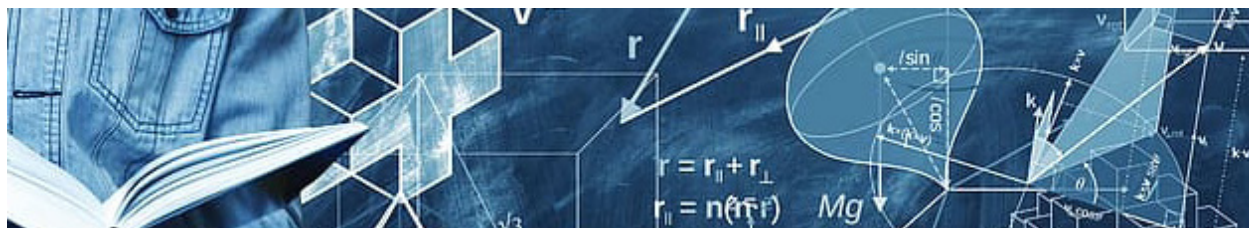
RESUMEN

La ciencia también se construye desde las nuevas generaciones. Con esta idea nació el Capítulo Estudiantil de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales (SMCTSM): Jóvenes Investigadores. Un espacio dirigido a estudiantes apasionados por la ciencia y la tecnología, que ofrece oportunidades reales de participación, colaboración y crecimiento. Más que un grupo estudiantil, el capítulo busca crear una comunidad para compartir ideas, desarrollar habilidades y demostrar que los estudiantes no solo aprenden ciencia: también la crean, la comunican y la transforman. Con esta iniciativa, se invita a la comunidad estudiantil a sumarse a este proyecto para impulsar, juntos, nuevas oportunidades para el futuro científico de nuestro país.

Palabras clave: jóvenes investigadores, divulgación científica, ciencia y tecnología, ciencia de materiales, comunidad estudiantil.



UN ORIGEN CON PROPÓSITO: ¡LOS JÓVENES TAMBIÉN HACEN CIENCIA!



La creación del Capítulo Estudiantil de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales (SMCTSM): Jóvenes Investigadores nace de una idea sencilla, pero poderosa: los jóvenes también hacen ciencia. Esta idea compartida por muchos estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado refleja su profundo interés por contar con un espacio propio dentro de la comunidad científica. Un espacio que represente sus intereses, inquietudes, fortalezca su participación e impulse su desarrollo académico, profesional y humano. El capítulo surge, precisamente, para responder a esa necesidad. Su propósito es construir una comunidad donde las nuevas generaciones puedan encontrarse, compartir experiencias, colaborar y desarrollar ideas en torno a la ciencia y la tecnología de materiales. Más que reunir estudiantes, busca consolidarse como un espacio activo de interacción y formación, en el que se generen redes de colaboración, se promueva la participación en actividades académicas y científicas, y se fortalezcan habilidades clave como la comunicación, el liderazgo y el trabajo en equipo. Asimismo, pretende ofre-

cer un entorno donde las ideas, preguntas y proyectos de los jóvenes investigadores tengan visibilidad, fomentando el intercambio de perspectivas y contribuyendo a nuevas formas de hacer y pensar la ciencia en México.

Esta iniciativa cobra especial importancia en un momento en que la ciencia avanza rápidamente y los retos tecnológicos demandan nuevas perspectivas. En este escenario, los jóvenes investigadores enfrentan desafíos importantes, como acceder a redes y espacios de colaboración, dar visibilidad a sus trabajos y fortalecer habilidades esenciales. Frente a estos desafíos, el capítulo se propone funcionar como un puente entre estudiantes, investigadores consolidados, instituciones y la SMCTSM.

Así, con entusiasmo, compromiso y una visión clara hacia el futuro, comenzó a tomar forma esta comunidad pensada por y para jóvenes interesados en la ciencia. Una comunidad que busca demostrar que las nuevas generaciones no solo se preparan para hacer investigación: también están listas para aportar, comunicar y transformar el conocimiento.

OBJETIVO DEL CAPÍTULO ESTUDIANTIL

Articular una comunidad de jóvenes investigadores para impulsar su desarrollo y participación en la ciencia y la tecnología de materiales.

Este propósito parte de una visión clara: la formación de un joven investigador no ocurre únicamente en el laboratorio o en el aula. Por esta razón, el capítulo busca promover actividades que desarrollen habilidades, como la divulgación de la ciencia, la organización de eventos y de proyectos, el trabajo colaborativo, el liderazgo, la discusión crítica de las investigaciones y la construcción de redes en-

tre instituciones. Más que reunir estudiantes, se pretende desarrollar una comunidad de crecimiento colectivo, en el que cada integrante pueda reconocerse como parte activa de la ciencia. De esta manera, el capítulo no solo acompaña la formación de nuevos investigadores, también contribuye a construir una comunidad científica más abierta, participativa y conectada con los retos actuales del país.

Nuestra labor se articula en tres pilares:

- Comunidad:** crear un entorno donde los estudiantes se encuentren, compartan experiencias y desarrollen un sentido de pertenencia, transformando sus ideas y preguntas en proyectos con impacto.
- Colaboración:** generar puentes entre estudiantes, investigadores consolidados e instituciones para favorecer el intercambio de ideas y la creación de redes de trabajo.
- Formación integral:** fortalecer habilidades académicas, profesionales y humanas que permitan a los jóvenes investigadores participar activamente en la ciencia.

En esencia, el capítulo pretende ser un espacio donde la ciencia no solo se aprenda, sino que también se cree, se cuestione y se proyecte.

VISIÓN: UNA COMUNIDAD QUE TRASCIENDE

La visión del capítulo es consolidarse como un referente nacional en la formación y vinculación de jóvenes investigadores en el área de ciencia de materiales.

A mediano y largo plazo, se busca: fortalecer la presencia estudiantil dentro de la SMCTSM, establecer colaboraciones con otras instituciones y capítulos estudiantiles, generar espacios permanentes de divulgación científica, como revistas, seminarios y talleres y promover la internacionalización de sus integrantes. La meta es construir una comunidad que crezca y al mismo tiempo genere impacto en los jóvenes.

PRIMER CAPÍTULO ESTUDIANTIL: UN PASO HACIA UNA COMUNIDAD ACTIVA

El inicio formal del capítulo estudiantil estuvo marcado por un evento significativo: su inauguración, realizada el *4 de diciembre de 2025* en el auditorio José Adem del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), Unidad Zacatenco. Este evento no solo representó el inicio oficial de las actividades del Capítulo Estudiantil, sino que también permitió generar un punto de encuentro entre estudiantes, investigadores y académicos interesados en fortalecer la participación juvenil en la ciencia.



Figura 1. Mesa directiva de la SMCTSM junto con la mesa directiva del Capítulo Estudiantil SMCTSM: Jóvenes Investigadores durante la inauguración de este.

El evento incluyó pláticas plenarias impartidas por investigadores consolidados, quienes además han sido directores de la SMCTSM, entre ellos el Dr. Víctor Hugo García Méndez, el Dr. Gregorio Hernández Cocoltzi y el Dr. Edgar Enrique Camps Carvajal. A través de sus experiencias y conocimientos, ofrecieron a los asisten-

tes un espacio enriquecedor que motivó la reflexión y la interacción. Asimismo, se realizó una sesión de pósteres donde los jóvenes investigadores, estudiantes de licenciatura y posgrado de diversas formaciones, presentaron los trabajos que desarrollan, aportando nuevas ideas y perspectivas.



Figura 2. Plenarias impartidas en el auditorio José Adem del departamento de Física en el CINVESTAV Unidad Zacatenco. (a) Dr. Víctor Hugo García Méndez, (b) Dr. Edgar Enrique Camps Carvajal y (c) Dr. Gregorio Hernández Cocoltzi.

Además, el evento permitió visibilizar el interés de la comunidad estudiantil por integrarse a iniciativas que promuevan el crecimiento colectivo, consolidando así el primer paso hacia la construcción de una red sólida de jóvenes investigadores. Uno de los aspectos más destacados del evento fue la activa participación de los jóvenes investigadores. Las preguntas, comentarios y discusiones reflejaron el interés genuino de los asistentes por involucrarse en este nuevo capítulo. El alto interés por compartir el conocimiento se vio evidenciado por la participación de 30 diferentes trabajos en la sesión de carteles. En la cual se destacaron los 3 mejores trabajos presentados.



Figura 3. (a) Sesión de carteles y convivencia. (b) Ganadores del concurso a mejores carteles.

MIRANDO HACIA EL FUTURO

El capítulo estudiantil SMCTSM: Jóvenes Investigadores se proyecta como una iniciativa dinámica, en constante evolución. Entre los planes a futuro destacan la organización de eventos académicos, la creación de contenido divulgativo y la apertura de nuevos espacios de participación para estudiantes de distintas instituciones. Más allá de las actividades específicas, el verdadero propósito es construir una comunidad con sentido de pertenencia y colaboración, en la que cada integrante encuentre un lugar para desarrollarse y aportar sus ideas.

CONCLUSIÓN

La creación del Capítulo Estudiantil SMCTSM: Jóvenes Investigadores representa mucho más que la integración de un grupo estudiantil. Simboliza el compromiso de una nueva generación con la ciencia, la innovación y la construcción de comunidad. Su inicio marca una oportunidad para fortalecer la participación de jóvenes en la ciencia y la tecnología, visibilizar su trabajo e impulsar un espacio donde las ideas puedan compartirse, discutirse y transformarse en proyectos con impacto.

Con una base sólida, un comienzo prometedor y una visión clara hacia el futuro, el capítulo se perfila como un espacio clave para acompañar y potenciar el talento joven en la ciencia y tecnología. Su existencia demuestra que el futuro científico del país también se construye desde la colaboración, la participación y las iniciativas estudiantiles.

El camino apenas comienza, pero el potencial es enorme.

AGRADECIMIENTOS

El Capítulo Estudiantil SMCTSM: Jóvenes Investigadores expresa su más sincero agradecimiento a la Dra. María Leticia Pérez Arrieta, presidenta de la SMCTSM, por su respaldo y confianza en el desarrollo de esta iniciativa. Asimismo, hacemos extensivo este reconocimiento a la mesa directiva de la SMCTSM, particularmente a la Dra. Yenny Lucero Casallas Moreno, cuyo acompañamiento ha sido fundamental para impulsar la participación de las nuevas generaciones dentro de la Sociedad. También, reconocemos el valioso apoyo de Jesús Alejandro Isais Torres, Webmaster de la Sociedad, cuya labor ha sido fundamental para la difusión y consolidación de nuestras actividades. De igual manera, extendemos un agradecimiento especial a Diana García Sotelo, por su constante disposición y compromiso en la organización de cada uno de nuestros eventos. Finalmente, agradecemos al Proyecto ACADEMIAS-2025-A-13 titulado: "Programa de Promoción, Divulgación y Formación de Talento en Ciencia de Superficies, Materiales y Vacío (2025-2027)" por el apoyo brindado, el cual ha contribuido de manera significativa al fortalecimiento de este esfuerzo académico.



ÁTOMO x ÁTOMO

MATERIALES NOVEDOSOS

LINEAMIENTOS EDITORIALES

Revista de divulgación de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales

1. Propósito de la revista

La revista tiene como objetivo difundir, en un lenguaje accesible y atractivo, conocimientos, avances y aplicaciones relacionados con las áreas de interés de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales, acercando la ciencia y la tecnología a la sociedad.

Busca promover la cultura científica, despertar vocaciones, y mostrar el impacto social, tecnológico y ambiental de los materiales, las superficies y la nanotecnología.

2. Objetivo general

Consolidar un espacio de divulgación científica que comunique, con lenguaje accesible y fundamentos sólidos, los avances, aplicaciones e impacto social de las áreas de interés de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales, contribuyendo a la formación de nuevas generaciones interesadas en la ciencia, la ingeniería y la innovación.

3. Público objetivo

La revista está dirigida al público general interesado en ciencia y tecnología, estudiantes de los últimos años de bachillerato y de licenciatura, docentes y profesionales de áreas no especializadas. Los contenidos deberán poder ser comprendidos por lectores sin formación técnica especializada.

4. Alcance temático

La revista publicará contenidos de divulgación relacionados con las áreas de interés de la Sociedad.

5. Tipo de contenidos

La revista es de divulgación científica, no académica. Por lo tanto: no se publicarán artículos técnicos especializados, no se incluirán ecuaciones complejas, el lenguaje debe ser claro y accesible, se priorizarán ejemplos, analogías y aplicaciones

Se tendrán las siguientes secciones:

Artículos de divulgación, Noticias, Noticias de la Sociedad, Entrevistas, Historias de la ciencia, Opinión y Perspectiva, Reseñas, Datos curiosos

6. Lineamientos de los artículos:

Los artículos podrán tener un máximo de cuatro autores y deberán contener:

Resumen: máximo de 200 palabras (para los artículos de divulgación)

Palabras clave: 3 o 4, que describan la temática del artículo.

Extensión y formato: los artículos de divulgación podrán tener una extensión de hasta 3,000 palabras. Los otros hasta 1,000 palabras. Deberán estar escritos en procesador de texto Word, en tamaño carta, en fuente Times New Roman de 12 puntos, interlineado doble.

Uso de siglas y acrónimos: para el uso de acrónimos y siglas en

el texto, la primera vez que se mencionen, se recomienda escribir el nombre completo al que corresponde y enseguida colocar la sigla entre paréntesis.

Figuras: en formato TIFF y/o JPG, con una resolución mínima de 300 dpi.

Uso de inteligencia artificial: se permite el uso de herramientas de inteligencia artificial únicamente para corrección de estilo, ortografía y gramática. No está permitido su uso para la generación del contenido del artículo. En todos los casos, los autores deberán declarar explícitamente en su artículo qué herramienta utilizaron y con qué propósito, por ejemplo: “La redacción de este artículo fue revisada con [nombre de la herramienta] para corrección de estilo y ortografía.”

Referencias: Se recomienda incluir no más de 10 referencias o bibliografía. Insertar las referencias en el texto numeradas y entre paréntesis, por ejemplo (1), y utilizar el siguiente formato:

Libro: Apellido, A. A. (Año). Título. Ciudad, País. Editorial.

Publicaciones periódicas formato impreso: Apellido, A. A., Apellido, B. B, y Apellido, C. C. (Fecha). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen (número), pp-pp.

7. Periodicidad

La revista es semestral y cada número incluirá aproximadamente 4–5 artículos principales y secciones complementarias.

8. Derechos y originalidad

Los autores deberán enviar textos originales, evitar plagio, contar con permisos para uso de imágenes si no son propias y aceptar el proceso editorial de corrección y estilo. Se permite el uso de herramientas de inteligencia artificial como apoyo para la corrección de estilo, gramática y ortografía, siempre que su utilización sea declarada explícitamente.

9. Proceso editorial

El proceso editorial comprenderá las siguientes etapas:

Recepción: se recibirán los manuscritos conforme a los lineamientos establecidos en estas instrucciones.

Revisión automatizada inicial: como primer filtro, el manuscrito será analizado mediante una herramienta de inteligencia artificial que evaluará aspectos de ortografía, gramática y estilo. En caso de que se detecten áreas de oportunidad significativas para el mejoramiento del artículo, éste será devuelto a los autores junto con los comentarios generados, para que realicen las correcciones pertinentes antes de continuar con el proceso.

Revisión editorial: una vez superado el filtro inicial, el editor en jefe realizará una revisión general del manuscrito para verificar que cumple con los lineamientos y criterios de la revista.

Evaluación por el comité editorial: un integrante del comité editorial evaluará el artículo con base en la claridad, pertinencia y calidad divulgativa del texto. De ser necesario, se enviará retroalimentación a los autores para que realicen ajustes.

Edición y producción: los artículos aceptados pasarán por las etapas de edición de estilo, diseño, maquetación y publicación final.

ÁTOMO
×
ÁTOMO
— MATERIALES NOVEDOSOS —