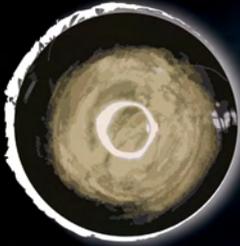


A la conquista de los materiales cuánticos
Cecilia Noguez **pág. 10**

Grafeno: el material de este siglo
Florentino López Urías **pág. 12**

Nanomedicina: la salud de hoy y mañana en buenas manos
Verónica Quilumba Dutan y José Luis Rodríguez López **pág. 18**



OBSIDIANA

Ciencia y Cultura por México

NANOCIENCIAS:

el poder de lo diminuto

AÑO 2, NÚM. 12.
MÉXICO, OCTUBRE DEL 2024



NUESTRAS REDES SOCIALES

 @Obsidianamx  @obsidiana_mex  @obsidiana_mex

Busca contenidos exclusivos en la versión digital de *Obsidiana*, disponible en:

www.obsidianadigital.mx

 **BSIDIANA**
Ciencia y Cultura por México

OCTUBRE 2024

obsidianadigitalmx@gmail.com



Consejo Editorial

Presidente

José Franco

Estrella Burgos (†), Lamán Carranza Ramírez, Luz de Teresa, Luis Roberto Flores Castillo, Alejandro Frank, Azucena Galindo, Cinthya García Leyva, Marcia Hiriart, Alonso Huerta, Antonio Lazcano, Omar López-Cruz, María Nieves Noriega, Raúl Rojas, Pedro Salazar, José Seade, Marina Stavenhagen, Brenda Valderrama Blanco, Yael Weiss

Equipo Editorial

Lamán Carranza Ramírez

Dirección general

Luísa Fernanda González Arribas

Editora en jefe

Omar Hernández Godínez

Diseño e ilustración editorial

.....
No. 12 Nanociencias: el poder de lo diminuto

José Luis Morán López
Editor invitado
.....



CONTENIDO

2

La revolución a escala nanométrica
Lamán Carranza

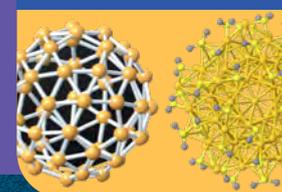
EMERGENTE



20

Nanomateriales quirales: un átomo cuenta
Penélope Rodríguez-Zamora e Ignacio L. Garzón

ESPEJO



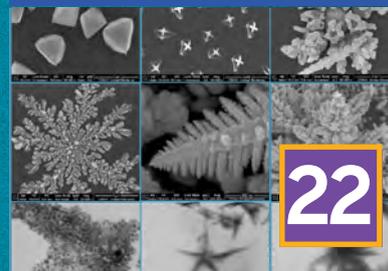
FRAGMENTOS



Nanomateriales: Evolución del campo

4

ESPEJO



22

Ciencia en acción contra sustancias tóxicas
M. Edith Navarro Segura y Margarita Sánchez Domínguez

TRANSLÚCIDO



24

La nanotecnología y su lucha por un lugar en el siglo XXI
Emiliano Cassani

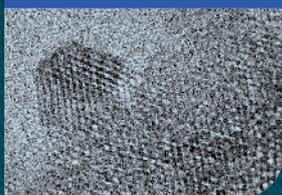
6

El mundo de lo ultra pequeño: materiales nanoestructurados
Rodrigo Humberto Aguilera del Toro, Faustino Aguilera Granja y José Luis Morán López

ESPEJO



ESPEJO



Catálisis: fuerza transformadora
Rodolfo Zanella Specia

8

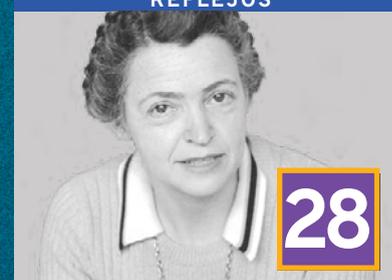
AMORFO



26

Nanociencia "atrapada" en el laboratorio
Emiliano Cassani

REFLEJOS



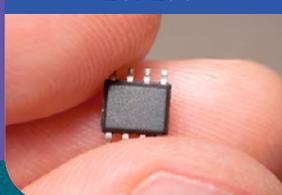
28

Mildred Dresselhaus, la reina de la ciencia del carbono

14

De la carga eléctrica al espín, avances que cambiarán el mundo
Máximo López López

ESPEJO



ESPEJO



Imanes extremadamente pequeños
José Luis Morán López y Faustino Aguilera Granja

16

29

El arte de Arturo Buitrón, mostrar sin mostrar
Luisa F. González A.

INTRUSIÓN



La promesa de la nanociencia: su habilidad para manipular la materia a escala atómica.



LA REVOLUCIÓN A ESCALA NANOMÉTRICA

Lamán Carranza

DIRECTOR GENERAL



@LamanCarranza



@lamancarranza



@lamancarranza

La nanotecnología, esa maravilla del universo infinitamente pequeño, donde cada átomo y molécula son los hilos de un tejido que promete transformar el mundo, ha sido subestimada y frenada en nuestro país, principalmente por su aparente alto costo. Pero, ¿qué resulta más oneroso? ¿Invertir en el futuro o depender de otros países para resolver nuestros propios desafíos?

Esta disciplina, con un mercado global que ha alcanzado los 3.6 mil millones de dólares, y proyecciones que indican que, para 2030, superará los 32.2 mil millones, ha sido declarada prioritaria en numerosos planes de desarrollo en el ámbito mundial. Sin embargo, en México aún carecemos de un programa nacional robusto, una iniciativa clara que impulse este campo, pese a su enorme potencial para mejorar la vida de millones de personas.

El número 12 de *Obsidiana* busca visibilizar esta ciencia, cuyo poder radica en su tamaño, su precisión y sus posibilidades. Con “Nanociencias: el poder de lo diminuto”, nos adentramos en el fascinante mundo de lo microscópico, en el cual átomos y moléculas se convierten en potentes herramientas, capaces de abordar problemas complejos y abrir puertas a nuevas tecnologías.

La promesa de la nanociencia reside en su habilidad única para manipular la materia a escala atómica. Esta capacidad es verdaderamente revolucionaria: permite diseñar nuevos materiales y dispositivos desde su estructura más elemental, así como conseguir propiedades y funcionalidades que desafían los métodos convencionales.

Así, se abre la puerta a innovaciones que han transformado por completo nuestras vidas, a veces sin que nos percatemos de ello. Explora en estas páginas los avances más prometedores de la nanociencia.

Bajo la batuta de José Luis Morán López como editor invitado, a través de artículos detallados y entrevistas con líderes del campo, destacamos los logros técnicos, y también los desafíos que enfrenta esta ciencia.

Verónica Quilumba y José Luis Rodríguez nos sumergen en el mundo de la nanomedicina, demostrando cómo las terapias a nivel molecular están preparadas para revolucionar el tratamiento de enfermedades crónicas y terminales. Por su parte, Florentino López nos introduce en las increíbles propiedades del grafeno, “el material del siglo”, cuya resistencia y conductividad están listos para transformar la electrónica y la energía.

Como bien apuntan Penélope Rodríguez e Ignacio Garzón, “cada átomo cuenta”, pues la manipulación a escala atómica no solo plantea nuevas posibilidades, sino también interrogantes sobre la seguridad y la privacidad en un mundo dominado por tecnologías disruptivas.

Los investigadores presentes en este número tienen un mensaje claro: la nanotecnología no debe quedarse atrapada en los laboratorios ni ser vista solo como una promesa a futuro.

La nanotecnología es una revolución en curso, una ciencia que ya está transformando nuestra forma de vivir, trabajar y enfrentar los grandes desafíos globales. Desde *Obsidiana* queremos acercar a nuestros lectores un vistazo profundo a este fascinante universo. ●

Diferencial de la Planta Tratadora por doble oxidación avanzada con Nanotecnología

CONSUMIBLES

Las plantas tradicionales **necesitan para su operación muchos consumibles**, entre los más costosos son el hipoclorito de cloro y alúmina. Cada mes una planta tradicional tiene un gasto de 300 mil en consumibles.

La planta con nanotecnología avanzada **no requiere de ningún químico**, lo que no genera costo adicional en su operación.

PERSONAL

El modelo tradicional requiere de **personal calificado de hasta 20 personas para su operación diaria los 365 días del año**, entre ellos: químicos, biólogos, bomberos, ayudantes, etc.

El modelo con nanotecnología avanzada **requiere 1 persona con nivel de estudios de preparatoria, con asistencia 1 sola vez a la semana**. Lo que también disminuye el costo de la Planta.

COSTO



Las plantas tradicionales requieren de un pago millonario anual de energía eléctrica.



La planta con nanotecnología avanzada **requiere solo 125 volts**.



La planta con nanotecnología avanzada **requiere mantenimiento cada 2 años**.



La planta con nanotecnología avanzada solo requiere de 7 a 15 minutos para empezar a operar.



La doble oxidación avanzada es un proceso que existe y que usan las plantas tratadoras, sin embargo, el PLUS consiste en el proceso de **DOBLE OXIDACIÓN AVANZADA CON NANOTECNOLOGÍA**, un proceso nuevo y único.

BS
ARCHITECTS

¿Te gustaría que todos en tu equipo pudieran tomar decisiones basadas en datos?

- En **BS Architects**, nuestra inteligencia artificial y analítica conversacional convierten datos complejos en información clara y accionable.
- Democratizamos el uso de los datos para empoderar a tu equipo.


Empodera tu Equipo con IA y Analítica Conversacional

Escanea el código QR → www.bsarchitects.com.mx



CONSULTORÍA ESPECIALIZADA EN ESTRATEGIA DE DATOS

¡Simplifica tus datos con nosotros!

NANOMATERIALES: EVOLUCIÓN DEL CAMPO

1959

Durante un congreso de la Sociedad Americana de Física, Richard Feynmann mencionó, en una conferencia, la posibilidad de construir sistemas de un número reducido de átomos. Fue la fuente de inspiración para el campo de la nanotecnología.



1974

Norio Taniguchi empleó por vez primera el término “nano-tecnología” en una conferencia.



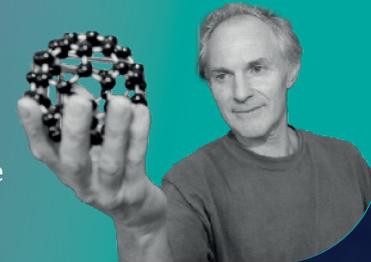
1981

Gerd Binnig y Heinrich Rohrer inventaron el microscopio de efecto túnel, un instrumento para “visualizar” superficies a nivel atómico.



1985

Harold Kroto, Richard Smalley y Robert Curl produjeron, de manera controlada, moléculas de C_{60} y C_{70} .



1986

Gerd Binnig y Heinrich Rohrer fueron reconocidos con el Premio Nobel de Física.



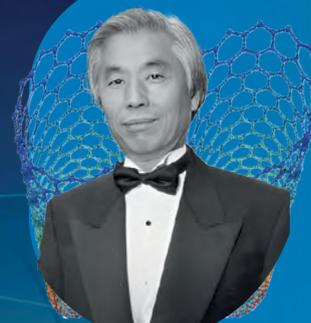
1988

Alan Fert y Peter Grünberg descubrieron la magneto resistencia gigante en películas delgadas.



1991

Sumio Iijima descubrió que, a partir de los fullerenos, se podían crear otras estructuras en forma de tubo: los nanotubos de carbono.



1996



Harold Kroto, Richard Smalley y Robert Curl recibieron el Premio Nobel de Química por el descubrimiento de la molécula C₆₀.

2007



Gerhard Ertl recibió el Premio Nobel de Química por sus estudios en los procesos químicos en superficies sólidas.

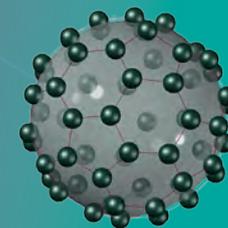
1998

Sander J. Tans y colaboradores desarrollaron un transistor molecular utilizando un nanotubo de carbono que opera a temperatura ambiente.

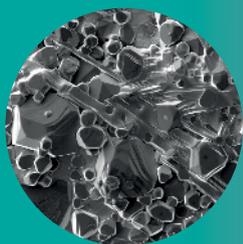


2010

Se demostró el poder antibacterial de las nanopartículas de plata.



1999



W.B. Choi y colaboradores desarrollaron pantallas de emisión de campo, fabricadas con nanotubos de carbón.

2013



Se desarrollaron nanoleds para mejorar la definición de las pantallas de televisión y de computadoras.

2004

Andre Geim y Konstantin Novoselov lograron sintetizar capas de grafeno.



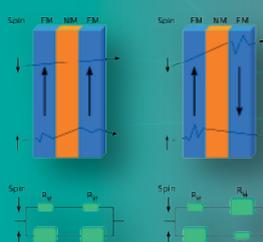
2017

Investigadores de *Nanomedical Diagnostics* crearon el primer chip electrónico empleando grafeno para usos farmacéuticos.



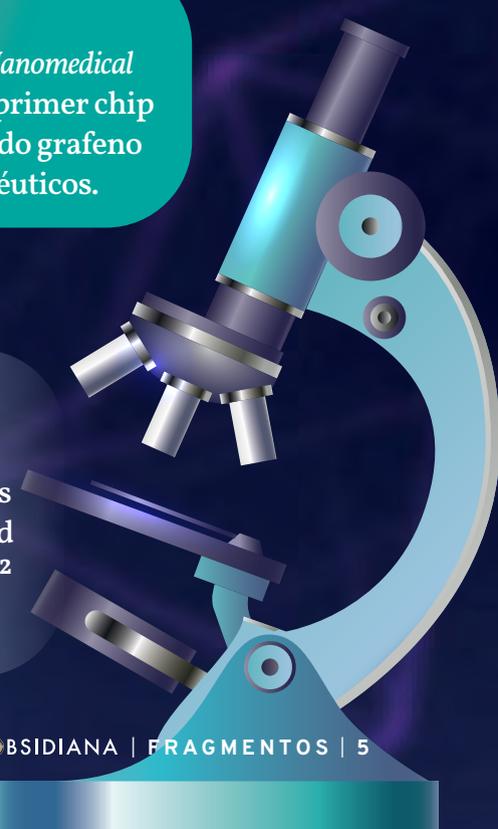
2007

Alan Fert y Peter Grünberg recibieron el Premio Nobel de Física por el descubrimiento de la magneto resistencia gigante.



2022

Se logró sintetizar materiales magnéticos con una densidad de grabación de 1 *terabyte/cm*²





ESPEJO

EL MUNDO DE LO ULTRA PEQUEÑO: MATERIALES NANOESTRUCTURADOS



Rodrigo Humberto Aguilera del Toro
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



Faustino Aguilera Granja
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ



José Luis Morán López
INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

✉ javvrosh@outlook.com

✉ faustino@ifisica.uaslp.mx

✉ joseluis.moran@ipicyt.edu.mx

ca, y que el hecho de no poder concretarse era debido a que no tenían aún el instrumental adecuado.

Fue hasta 1981 que los científicos G. Binning y H. Rohrer inventaron el microscopio de efecto túnel, con el que se pudo ver átomos por primera vez. Por cierto, en 1986 recibieron el Premio Nobel por su descubrimiento.

Tijeras, papel y pegamento

¿Qué herramientas o instrumentos necesitamos para manipular cosas tan pe-

En nanociencia, la unidad de medida es una millonésima de milímetro.



Se dice por ahí que el tamaño no importa. Aunque esta frase ha sido usada en muchos contextos, en el mundo de la física y la ciencia de materiales es fundamental y adquiere una relevancia infinita. Empecemos por la fascinación que siempre hemos tenido por lo diminuto, no solo en la literatura y televisión, sino también en la ciencia.

Recordarán, aquellos nacidos en los años 60, la serie de televisión *Tierra de Gigantes*, donde los protagonistas medían unos 10 cm. Aún más pequeño, vimos a *El Hombre Hormiga* (1962), héroe de DC Comics. La película de ciencia ficción *Viaje Fantástico* (1966), narra un viaje al interior del cuerpo humano en un submarino tripulado (Proteus), reducido de tamaño en el Centro de Miniaturización Norteamericano. En este relato, los protagonistas miden aproximadamente 2.5 micrones (0.0025 mm), esto es 40 veces más pequeño que el grosor de un cabello humano.

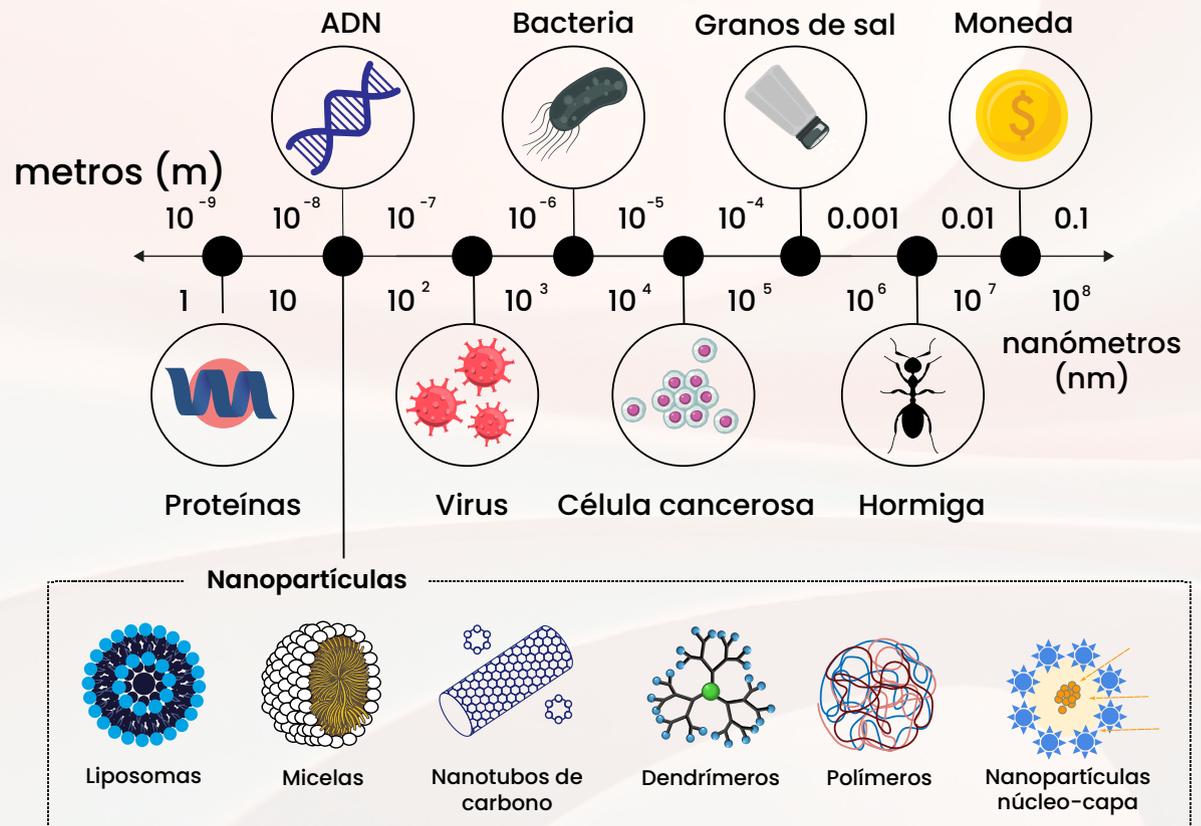
Estos personajes son entre 25 y 2,500 veces más grandes que la escala de los fenómenos que estudia lo que hoy llamamos nanociencia; la unidad de medida que le da su nombre es una millonésima de milímetro. En notación científica se dice que es uno elevado a la menos nueve.

Nacimiento de lo nano

La nanociencia surge el 29 de diciembre de 1959, de forma conceptual, durante la reunión anual de la Sociedad Americana de Física. Ahí, Richard Feynman habló acerca de la posibilidad de manipular directamente átomos y moléculas.

Sin embargo, el término *nanotecnología* fue usado por primera vez 15 años después, por Norio Taniguchi, quien señalaba la capacidad de manejar materiales a nivel nanométrico. Ambos científicos trataban de expresar que la manipulación atómica no violaba ninguna ley de la físi-

La escala nanométrica



Los materiales nanoestructurados en la escala de longitud.

queñas como los átomos? En esencia, los mismos que usamos en el taller o en la cocina de casa, pero en distinta presentación: tijeras, mazos, pinzas, cernidores, cuencos o bandas de transporte, evaporadores (aerosoles), hornos.

Curiosamente, no necesitamos pegamento, pues los átomos son como *legos* que se pueden unir unos con otros obedeciendo ciertas reglas, como las del juego *tetris*. Los responsables de este “pegamento” son los electrones que, junto con los núcleos, determinan las distintas propiedades que tienen los elementos de la tabla periódica.

Para cortar (tijeras) se utilizan rayos láser que seccionan material o, incluso, mutilan átomos. Para romper (mazos o piedras) se lanzan iones sobre el objeto a modificar. Para transportarlos se utilizan chorros de gases. Para crecer esos objetos se emplean evaporadores y aerosoles. Para seleccionar el tamaño de las nanopartículas (cernidores) se ionizan y luego se hacen pasar por campos electromagnéticos. Todos estos procesos se llevan a cabo en una cámara al vacío.

¿Cómo los vemos? Dependiendo del tamaño, se observan mediante la interacción de luz con los átomos. Esto genera una imagen de la geometría de los átomos que los constituyen. Hay otra técnica que usa electrones y sus propiedades ondulatorias.

Leyes de lo pequeño

Es importante aclarar que las leyes de la física del mundo pequeño no son las mismas que las que aplican a las bolas de billar o los planetas (Leyes de Newton). Se requiere de la mecánica cuántica. Esta disciplina se originó formalmente en 1900, cuando Max Planck estudió la emisión de luz de cuerpos a altas temperaturas (por ejemplo, el Sol). Entre 1920 y 1933, la mecánica cuántica experimentó un desarrollo significativo con contribuciones destacadas de científicos como Heisenberg y Schrödinger.

Este nuevo marco teórico permite describir las propiedades de la materia a escala atómica, determinadas, principalmente,



Membranas nanoscópicas que son usadas como templetas para crecer nanotubos.

por el comportamiento de los electrones. Así, fenómenos como la conducción eléctrica, capacidad calorífica, el magnetismo, la dilatación, la emisión de luz y las propiedades térmicas que observamos a escala humana pero son generadas a nivel atómico, se explican de manera satisfactoria.

La dimensionalidad

Las propiedades físicas y químicas de los materiales nanométricos varían con el tamaño, haciendo necesario introducir el concepto de dimensionalidad. Si la geometría de la partícula se extiende en un plano y tiene dimensiones nanométricas en la dirección perpendicular, se le llama *bidimensional*; por ejemplo, las películas delgadas o discoidales.

Los nanotubos o nanoalambres, con diámetros de ese orden, representan sistemas *unidimensionales*. Por último, las partículas con dimensiones de nanómetros en las tres direcciones perpendiculares son consideradas *cero dimensionales* o cúmulos. A esta escala, los cúmulos muestran patro-

nes de crecimiento sorprendentemente diferentes a las muestras volumétricas; por ejemplo, pueden tener simetría pentagonal, casi imposible en sistemas de mayor tamaño.

Es también de gran interés el estudio de los objetos descritos anteriormente cuando forman conglomerados o agregados, cuyas propiedades dependen tanto de sus partes, como de la forma en que estas interactúan entre sí.

¿Son producto de nuestra época?

¡No! Los materiales nanoestructurados han existido desde hace mucho tiempo. Se encuentran presentes en la naturaleza, como en la concha nácar, los colores de las alas de las mariposas y las patas de los geckos. Además, hemos fabricado objetos como vitrales, copas romanas, espadas en Damasco, cerámica con brillo metálico y la pintura conocida como *azul maya*.

Conocer estos materiales fue el resultado de *prueba y error*, además del ingenio y la curiosidad humana. Lo nuevo radica en que ahora comprendemos el funcionamiento del mundo nano, conocemos sus reglas y, con el tiempo, podremos diseñar materiales personalizados, basados en la nanotecnología, para satisfacer nuestras necesidades. ●



Los átomos son como *legos* que se pueden unir unos con otros obedeciendo ciertas reglas, como las del juego *tetris*.



CATÁLISIS: FUERZA TRANSFORMADORA

Rodolfo Zanella Specia

 @ZanellaRodolfo

INSTITUTO DE CIENCIAS APLICADAS Y TECNOLOGÍA, UNAM

Cuando comes, te trasladas en coche, lavas la ropa, y en múltiples actividades de la vida diaria te acompañan transformaciones químicas que, aunque pasan desapercibidas, son fundamentales para tu bienestar, desarrollo y, en ciertos casos, para la supervivencia. Muchos de estos procesos son promovidos por catalizadores, sustancias que aceleran una reacción química sin ser consumidas en el proceso.

Algunos ejemplos son la digestión, durante la cual las enzimas actúan como catalizadores para descomponer los alimentos; o la fabricación de medicamentos, en cuya síntesis se utilizan catalizadores para aumentar la velocidad y selectividad de las reacciones químicas.

¿Dónde más se emplean? En el mofle catalítico de los autos, para transformar gases nocivos en compuestos menos perjudiciales para el ambiente; en la refinación del petróleo para generar combustibles; en la hidrogenación de aceites vegetales para producir grasas sólidas; en la producción de ciertos azúcares; en los detergentes, para descomponer los compuestos que generan la suciedad; al producir energías más limpias y sustentables como el hidrógeno; en las celdas de combustible; en la fabricación de telas sintéticas, plásticos o productos de limpieza; o en la elaboración de insumos para la agricultura, como fertilizantes y plaguicidas.

La catálisis fue utilizada desde la época antigua en la fermentación del pan y la elaboración de vino, en procesos metalúrgicos, en la extracción de compuestos curativos de plantas y minerales, etc. Los mé-

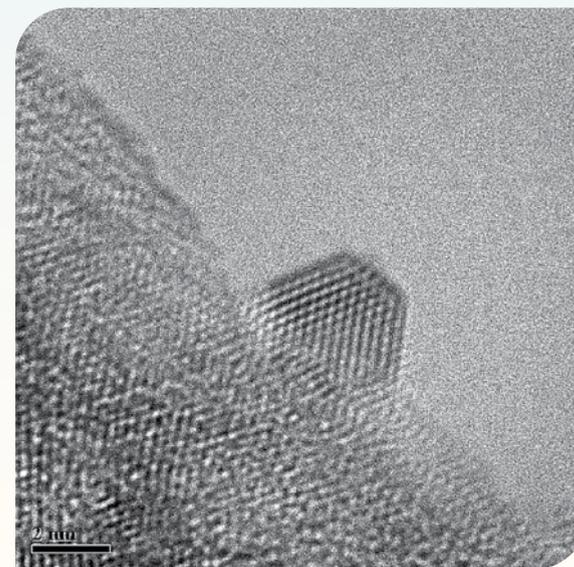


Imagen de microscopía electrónica de alta resolución de un nanocatalizador.

La ventaja de la nanocatálisis es que los materiales a esta escala presentan propiedades únicas.

todos experimentales de los alquimistas también fueron importantes para descubrir ciertos catalizadores. El conocimiento empírico de las civilizaciones antiguas dejó huella en la química moderna.

El término catálisis fue acuñado en 1835 por el químico y médico J. J. Berzelius, aunque las bases y comprensión de esta disciplina fueron desarrolladas por otros científicos, siendo el más notorio W. Ostwald, galardonado con el Premio Nobel de Química en 1909 por sus trabajos en el área.

Los catalizadores proporcionan una ruta de reacción más eficiente, redu-

ciendo la energía necesaria para que esa reacción ocurra. Lo logran a través de los sitios activos, que son regiones específicas de un compuesto químico o de la superficie de un sólido, donde interaccionan los reactivos con el catalizador, permitiendo la adsorción de los compuestos que van a reaccionar y facilitando la formación de nuevos enlaces químicos, necesarios para la transformación de las sustancias.

Esas interacciones promueven la generación de productos, y regeneran sus sitios activos después de la reacción, para así llevar a cabo otros ciclos catalíticos. Un catalizador comercial puede mantener su funcionamiento durante largos periodos de tiempo, como sucede con los mofles catalíticos de los autos y varios procesos industriales.

En los primeros estudios, el desarrollo de catalizadores a menudo se basaba en el método de prueba y error. Sin embargo, la necesidad de incrementar la eficiencia, el rendimiento, la selectividad y la durabilidad de los procesos llevó a científicos y tecnólogos al entendimiento y diseño racional y sistemático de los catalizadores.

Para diseñarlos es crucial comprender la reacción deseada y su mecanismo; elegir materiales potenciales para su síntesis; utilizar técnicas avanzadas de caracterización de materiales (como las **espectroscopias** y la **microscopía**), para conocer su estructura atómica y sus propiedades; utilizar técnicas computacionales de modelado molecular, para simular su comportamiento; modificar su superficie, para mejorar la **adsorción** de los reactivos y la **desorción** de los productos; realizar experimentos para evaluar su actividad, **selectividad** y durabilidad. Todo ello permite ajustar y mejorar el diseño para lograr un rendimiento óptimo.

Existen diferentes tipos de catalizadores. Entre los más versátiles en el ámbito industrial están los heterogéneos, que constan de un sólido en una **fase** distinta

Una disciplina que impulsa la eficiencia en la transformación de la materia para beneficio de la humanidad.



Reactor fotocatalítico a escala de laboratorio.

a la de los reactivos (que suelen encontrarse en fase líquida o sólida). Generalmente están compuestos de partículas metálicas dispersadas en un soporte con una **alta superficie** específica (como óxidos metálicos, fases de carbono, sulfuros).

Cuando sus componentes son extremadamente pequeños, con dimensiones en el rango de los nanómetros, se habla de nanocatalizadores. La ventaja de la nanocatálisis es que los materiales a esta escala presentan propiedades únicas, con mejor rendimiento catalítico en comparación con sus contrapartes a mayor escala.

Debido a su tamaño diminuto, los nanocatalizadores poseen una alta relación área/volumen, lo que genera más sitios activos superficiales para llevar a cabo la reacción, aumentando su eficiencia y velocidad. Al modificar tamaño, forma y composición de las nanopartículas es posible

ajustar sus propiedades electrónicas, químicas y geométricas, optimizándolas para reacciones específicas.

En el diseño de nanocatalizadores también debe considerarse el medio ambiente, por lo que se procura el uso de recursos renovables, minimizar residuos y que las reacciones se lleven a cabo en condiciones suaves (temperatura cercana a la ambiente y presión cercana a la atmosférica).

La nanocatálisis presenta retos, como la estabilidad a largo plazo de los catalizadores y la posible toxicidad asociada con las nanopartículas. Por lo anterior, la investigación en esta área también se centra en abordar estos desafíos y evaluar los riesgos asociados (de salud y ambientales).

La catálisis es una disciplina que impulsa la eficiencia en la transformación de la materia para beneficio de la humanidad. Desde los alquimistas hasta los científicos modernos, la búsqueda por entender y aprovechar esta fuerza transformadora ha permitido elucidar los conocimientos fundamentales sobre la naturaleza de las reacciones químicas, y mejorar la producción industrial, la síntesis de medicamentos y alimentos, la sostenibilidad ambiental, la generación de energías limpias, entre muchas otras. La catálisis es una pieza clave de la química moderna que, sin duda, seguirá transformado nuestro futuro. 🌍



Sistema de análisis de reactivos y productos a la salida de un reactor químico para evaluación de catalizadores.



A LA CONQUISTA DE LOS MATERIALES CUÁNTICOS

Cecilia Noguez
INSTITUTO DE FÍSICA, UNAM



Desde el surgimiento de la teoría cuántica, en los albores del siglo XX, los científicos hemos desarrollado herramientas poderosas para diseñar nuevos materiales y dispositivos, sistemas que no existen en la naturaleza pero que se delinean a partir de su conocimiento, como las lámparas de LED, esas fuentes de luz con color y potencia muy bien definidas (ver Figura 1). ¿Cómo lo logramos?

La modificación y creación de materiales ha ido de la mano con el desarrollo de la humanidad, desde la Edad de Piedra, pasando por la de los Metales, hasta llegar



Figura 1. Luz emitida por un diodo semiconductor (LED).



Figura 2. Copa de Licurgo: a) iluminada por detrás; b) por delante.

a nuestros días, que yo llamaría la Edad de la Materia Cuántica, ya que ha sido el principal motor de la electrónica, la informática y la nanotecnología.

Hace miles de años se comenzó a experimentar para entender propiedades como la resistencia, la deformación, la fusión, el templado, entre otras. Después empezó la búsqueda de materiales nuevos y con mejores propiedades, mezclando dos o más. De esto dan cuenta los enormes y antiguos edificios romanos que aún siguen en pie, gracias a la combinación de cal y cenizas volcánicas.

Los romanos también transformaron la materia para darle color a los cristales, como en la copa de Licurgo¹ elaborada en el siglo IV (ver Figura 2). El vidrio de esta copa contiene nanopartículas de oro y plata, que le dan un color rubí cuando se ilumina con luz blanca por detrás (luz transmitida a través de la copa), o color verde cuando se ilumina por delante (luz reflejada por la copa). Los romanos no sabían que sus materiales contenían metales, ni cuáles eran, ni la cantidad, ni mucho menos conocían el tamaño de las partículas contenidas, sino que hacían diferentes aproximaciones en sus mezclas (prueba y error) para obtener las propiedades deseadas.

¹ Rey mítico que prohibió el culto al dios Dionisio o Baco.

La modificación y creación de materiales ha ido de la mano con el desarrollo de la humanidad.

Las teorías clásicas permitían entender ampliamente los materiales, pero no facultaban la creación de otros, con propiedades y funciones a la medida. Con la teoría cuántica se estableció inmediatamente un área de investigación que busca comprender los materiales desde su naturaleza atómica. En sus comienzos se estudió la simetría y la periodicidad espacial con las que se encontraban los átomos en el material.

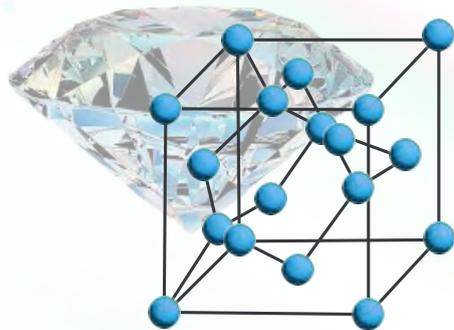
En 1912, William Henry Bragg y su hijo William Lawrence Bragg confirmaron la existencia de arreglos periódicos de átomos² mediante la difracción de los rayos X. Con la ecuación que proporciona la evolución del movimiento de partículas atómicas por Erwin Schrödinger en 1925 y el conocimiento de los arreglos atómicos, en 1928 Félix Bloch estableció un teorema que describe la evolución cuántica de partículas atómicas en cristales (arreglos periódicos). Surge entonces la teoría de bandas, que explica el comportamiento de los electrones en un material, así como otras propiedades.

Desde ese momento se entendió que la composición atómica de los materiales (los elementos químicos y su distribución espacial) determina sus propiedades (dureza, respuesta eléctrica, entre otras). Es el área que más rápidamente ha con-

² Se refiere al orden de los átomos.

Diamante

Estructura cúbica



Grafito

Estructura hexagonal laminar

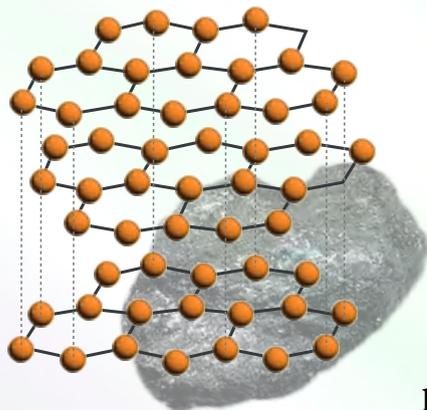


Figura 3. Estructuras del diamante y el grafito.

solidado su aportación a la tecnológica y, por supuesto, a la Era de la Materia Cuántica. Sin ella no tendríamos computadoras, teléfonos celulares, pantallas, lámparas LED, pruebas rápidas de COVID-19, y muchas otras cosas.

Veamos un ejemplo: los diamantes y el grafito se componen por átomos de carbono. En el diamante tienen un arreglo periódico representado por una estructura cúbica que se repite. Esto le da propiedades muy particulares: es el material con mayor dureza y conductividad térmica, un excelente aislante eléctrico y transparente a la luz, contiene pocas impurezas (otros elementos químicos) y baja cantidad de defectos en su ar-

Muy pronto habrá más materiales con propiedades a la medida, siendo un reto fabricarlos.

reglo cristalino³. Curiosamente, los defectos e impurezas otorgan al diamante tonalidades azules o violetas, y lo vuelven una gema preciosa.

El grafito tiene un arreglo cristalino en donde los átomos de carbono forman láminas planas en una red hexagonal. Los enlaces son muy fuertes entre los átomos a lo largo y ancho del plano, pero las láminas se encuentran unidas débilmente, lo que permite desprenderlas fácilmente cuando se apoya y desliza sobre una hoja de papel. Al contrario que el diamante, el grafito (aquel presente en la punta de tu lápiz) es un material extremadamente suave; la débil unión entre capas permite desprenderlas fácilmente cuando se apoya y desliza sobre una hoja de papel, y es un excelente conductor eléctrico de color gris oscuro metálico. Diferentes elementos son capaces de meterse entre las láminas, contaminándolo. La única diferencia entre el diamante y el grafito es el arreglo cristalino (ver Figura 3).

Esa débil unión entre las láminas atómicas del grafito permite aislar tan solo una de estas, utilizando una cinta adhesiva llamada grafeno. Además del diamante y grafito en 3 dimensiones y el grafeno en 2 dimensiones, los átomos de carbono forman otras estructuras como los nanotubos en 1 dimensión y los fullerenos en 0 dimensiones (ver Figura 4).

La dimensión de estos objetos se relaciona con el comportamiento de los electrones en ellos. Por ejemplo, los nanotubos de carbono son como hojas de grafeno enrolladas, donde los electrones están confinados en las dos direcciones perpendiculares al nanotubo y pueden

³ Orden periódico y repetitivo.

viajar a lo largo de este, considerándose un objeto de una dimensión.

Como los diamantes, los átomos de silicio forman cristales con la misma forma periódica. El cristal de silicio es un material semiconductor⁴ electrónico, no tan duro y de color amarillento. Se le pueden agregar impurezas de otros átomos de manera más fácil, modificando así sus propiedades electrónicas. Esto último lo convirtió en el material con mayor presencia en dispositivos electrónicos, computadoras, teléfonos, etc. Posiblemente es el material más estudiado por los científicos, y no es para menos, ya que ha sido la base de la electrónica desde mediados del siglo XX.

Es un hecho, varias teorías de la física cuántica permiten predecir las propiedades físicas de los materiales y, así, predecir nuevos materiales y proponer nuevos dispositivos. Muy pronto habrá más materiales con propiedades a la medida, siendo un reto fabricarlos; debemos hacerlo de manera inteligente y conscientes de sus posibles impactos, tanto positivos como negativos. No cabe duda, la Era de la Materia Cuántica está por entrar en una etapa de aceleramiento nunca antes vista. ●

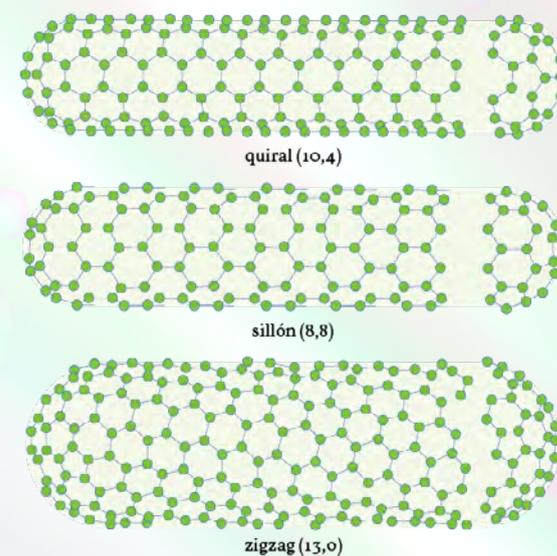


Figura 4. Estructuras de carbono con dimensionalidad 0, 1 y 2.

⁴ Puede conducir electrones cuando se encuentra bajo la presencia de un campo eléctrico.



GRAFENO: EL MATERIAL DE ESTE SIGLO

Florentino López Urías

INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA A.C.

✉ flo@ipicyt.edu.mx

El carbono es uno de los átomos más amigables de la tabla periódica de los elementos químicos, pues puede enlazarse o compartir electrones casi con cualquier otro elemento, y es la base de la química orgánica.

Se le considera un villano o un héroe, según en qué compuesto químico o material se encuentre. Por un lado, está íntimamente ligado con la vida y se encuentra en diversas estructuras moleculares, como el ácido desoxirribonucleico (ADN), proteínas y aminoácidos, la clorofila, la hemoglobina, etc. Pero también puede formar parte de moléculas poco deseables, como el monóxido de carbono, por su toxicidad.

Esta dualidad entre el bien y el mal se observa claramente en el dióxido de carbono (CO_2), el cual tiene muy mala reputación, por ser uno de los gases responsables del sobre calentamiento de la Tierra debido a sus altas concentraciones en la atmósfera. Sin embargo, el CO_2 es fundamental para la vida en nuestro planeta, pues ayuda a la realización de la fotosíntesis.

El grafeno es un material laminar formado por átomos de carbono con una estructura hexagonal tipo panal de abejas (Figura 1a). Se trata de un sistema

bidimensional (2D) con espesor de un solo átomo, a escala de nanómetros, de aproximadamente 0.3 nm (para comprender mejor ese minúsculo tamaño, piensa que un cabello humano tiene un diámetro de unos 80,000 nm). Es el bloque constructor del grafito (material usado en lápices), una estructura cristalina formada por láminas de grafeno apiladas verticalmente (Figura 1b).

En 2004, Andre Geim, Konstantin Novoselov y sus colaboradores reportaron en la prestigiosa revista *Science* (Novoselov et al., 2004), la fabricación de un transistor de efecto de campo (FET, por sus siglas en inglés) a base de grafeno (Figura 1c). Con este dispositivo controlaron el flujo de corriente eléctrica, sometándolo a un voltaje, y reportaron propiedades eléctricas excepcionales, con una movilidad de portadores de carga sin precedentes. Por esta aportación, recibieron el Premio Nobel de Física en 2010. A partir de

entonces, el grafeno ha sido tema de numerosas investigaciones experimentales y teóricas alrededor del mundo.

¿Qué lo convierte en un material tan especial? El grafeno es semimetálico, con características físico-químicas únicas, como alta movilidad de electrones, excelente conductividad térmica, ultraliviano, muy fuerte (cientos de veces mejor que el acero) y flexible, transparente, con superconductividad en estructuras de grafeno con pocas capas, permeable al agua en óxido de grafeno, con maravillosas propiedades de filtración, y puede ser magnético. A diferencia de muchos materiales, el grafeno puede soportar corrientes eléctricas muy intensas sin calentarse.

Parece tenerlo todo, ¿por qué? Hay cosas que pasan en el grafeno que no se pueden explicar en el marco de la física clásica. Por ejemplo, los electrones en el grafeno se mueven a una velocidad de 1/300 de la velocidad de la luz y se comportan como objetos sin masa (Novoselov et al., 2005; Novoselov et al., 2007), y la mecánica cuántica ha sido fundamental

Podría usarse en tratamiento de aguas residuales, sensores, inhibidores de virus, etc.



para entender este comportamiento (Neto et al., 2009; Geim & Novoselov, 2007).

Una de sus aplicaciones es la fabricación de sistemas 2D con pocas capas de grafeno, materiales que pueden presentar propiedades superconductoras, es decir, conducir electricidad de forma continua, sin pérdida de energía. En particular, dos capas de grafeno rotadas entre sí (ver Figura 1d), pueden presentar superconductividad para ángulos de rotación muy pequeños (Cao et al., 2018).

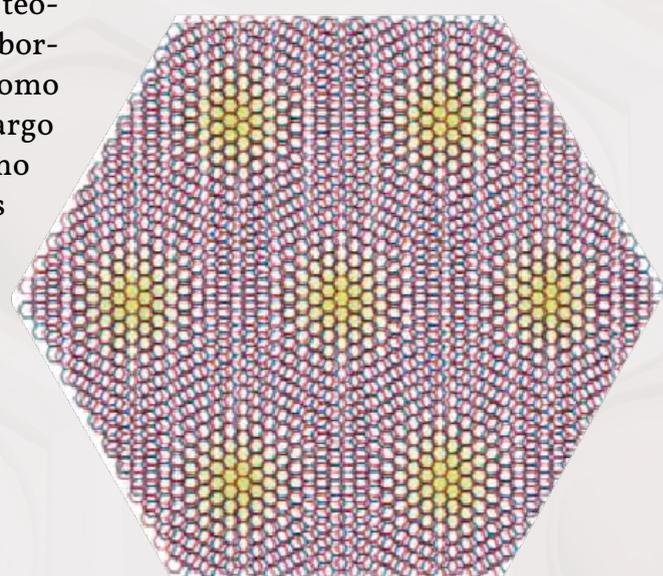
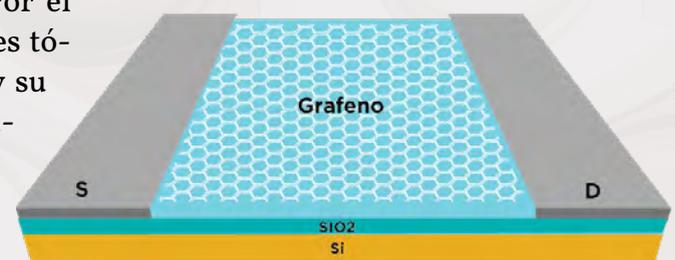
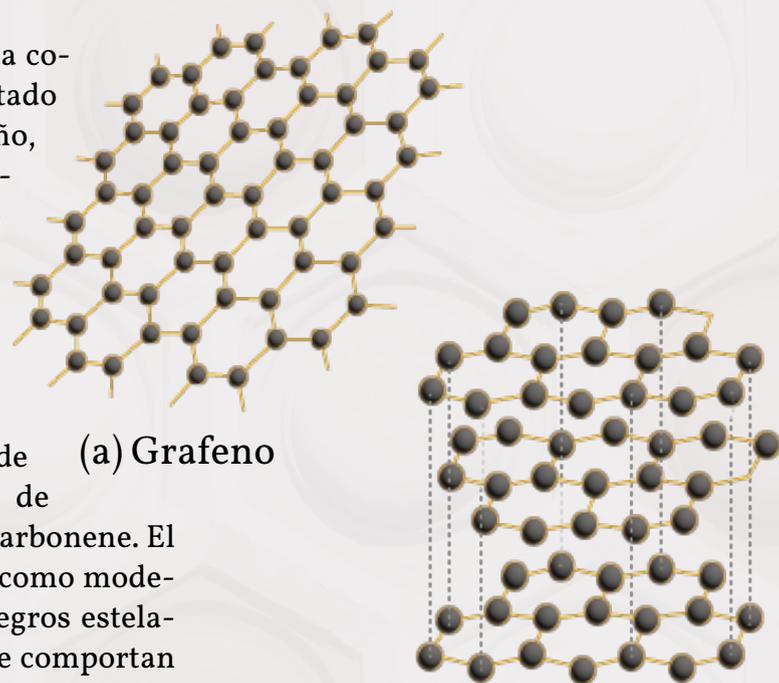
El alta área superficial¹ del grafeno lo hace un fuerte candidato para adsorber altas concentraciones de diferentes especies químicas. Durante mucho tiempo, los carbones activados (materiales porosos con gran superficie) se han utilizado ampliamente para el tratamiento de agua y la adsorción de gases. Esta nueva generación de estructuras de carbono, con propiedades electrónicas y químicas innovadoras, ofrece horizontes diversos para lograr mejoras en la adsorción, lo que podría dar lugar a aplicaciones originales e innovadoras.

Podría usarse en tratamiento de aguas residuales, rutas para la generación de energía limpia, dispositivos de almacenamiento de hidrógeno, sensores, soportes catalíticos, inhibidores de virus, etc. El grafeno dopado² con otros átomos, por ejemplo, átomos de carbono reemplazados por nitrógeno, boro, fósforo, silicio, etc., se torna más reactivo y puede albergar diversas especies químicas, moléculas, hidrógeno, o nanopartículas en su superficie con la facultad de conducir a nuevas propiedades y aplicaciones interesantes.

No es tóxico, no irrita la piel, y su inhalación no causa reacciones adversas.

Con el auge del grafeno, la comunidad científica ha reportado que el silicio, germanio, estaño, nitrógeno y muchos otros elementos son estructuralmente estables en 2D, con una estructura hexagonal. Estos han sido llamados silecene, germanene, estanene, nitrogene. Dada esta convención para la denominación de estos materiales 2D, en vez de grafeno, este debió llamarse carbonene. El grafeno también se ha usado como modelo para investigar agujeros negros estelares, dado que los electrones se comportan como un fluido.

Estudiar el grafeno ha fomentado que surja una nueva línea de investigación llamada materiales bidimensionales. Por el momento se sabe que el grafeno no es tóxico, no irrita la piel, y su inhalación no causa reacciones adversas. No obstante, existen experimentos y desafíos teóricos por abordar, tales como el efecto a largo plazo del grafeno en la salud de seres vivos y en el medio ambiente. Todavía se requiere mucho esfuerzo de la comunidad científica e ingenieril, así como estudios de mercado, para hacer realidad todo su potencial.



(c) Transistor de efecto de campo (FET)

(d) Dos capas de grafeno rotadas

¹ El área superficial es el área total en la superficie de un objeto. Depende fuertemente de la forma, tamaño y rugosidad del mismo.

² El dopaje es la introducción intencionada de impurezas en un semiconductor, para modular sus propiedades eléctricas, ópticas y estructurales.

Figura 1. (a) Modelo molecular de la estructura bidimensional del grafeno; (b) grafito formado por infinitas capas de grafeno apiladas verticalmente (apilamiento llamado ABABABA...); (c) transistor de efecto de campo (FET) usando grafeno; (d) modelo molecular de bicapa de grafeno rotado, formando un patrón de Moiré.



DE LA CARGA ELÉCTRICA AL ESPÍN, AVANCES QUE CAMBIARÁN EL MUNDO

Máximo López López

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS AVANZADOS, IPN

Seguramente más de una vez te has frustrado por la lentitud de tus aparatos electrónicos: computadora, teléfono celular, tableta, video juego o *smart TV*. Son varios los factores que pueden ocasionarla, como *hardware* obsoleto, memoria llena, software desactualizado, configuración y ajustes inapropiados. Enfoquemos nuestra atención en el *hardware*, especialmente en la unidad central de procesamiento (CPU, por sus siglas en inglés), que es el "cerebro" de estos dispositivos y desempeña un papel crucial en su velocidad.

Para que los aparatos electrónicos funcionen, sus CPUs requieren una gran cantidad de transistores.

Los avances en tecnología han llevado a mejoras significativas en la velocidad intrínseca de los CPUs. Pero, ¿cómo realizan los procesos estos dispositivos? Trabajan en un lenguaje de dos estados (para llevar a cabo diferentes operaciones): "prendido-apagado", "arriba-abajo", o "1-0", un lenguaje binario donde a cada estado se le conoce como "bit" (ver Figura 1). Los humanos usamos lenguajes de programación y compiladores para convertir nuestras instrucciones al lenguaje binario de las computadoras.

En un CPU, el dispositivo elemental que produce los estados "1" y "0" es el *transistor* que, mediante una compuerta, per-

Construcción del número 10 en código binario

División por 2	Cociente	Residuo (Dígito)	Bit #
10/2	5	0	0
5/2	2	1	1
2/2	1	0	2
1/2	0	1	3

Representación binaria:
1010
Bit#3 Bit#2 Bit#1 Bit#0

Figura 1. El número decimal 10 en binario está representado por la secuencia 1010.

mite el paso (estado "1") o bloquea el paso (estado "0") de una corriente eléctrica (flujo de electrones)¹. Los transistores controlan el flujo de corriente eléctrica con la carga del electrón. Así, la *electrónica* es la disciplina que se dedica a producir sistemas físicos que emplean la carga eléctrica para el control de un flujo de electrones.

Para que nuestros aparatos electrónicos funcionen, sus CPUs requieren una cantidad enorme de transistores que les permitan realizar operaciones de forma rápida y eficiente. Estos están integrados en un elemento fundamental de la electrónica: el chip, que es un trozo de silicio, aproximadamente del tamaño de una uña (ver Figura 3).

A medida que aumenta la cantidad de transistores en un chip, se pueden realizar más operaciones y cálculos simultáneos, lo que permite a los CPUs ejecutar tareas más complejas en menos tiempo y con mayor eficiencia energética. Un chip de computadora contiene decenas de miles de millones de transistores (ver Figura 4).

Parecería lógico entonces que es necesario reducir el tamaño de los transistores para incorporar más en un chip. Hoy en día, el menor tamaño de un transistor en un chip avanzado es, aproximadamente, de 5 nanómetros (1nm es una millonésima parte de un milímetro). En dimensiones tan pequeñas surgen nuevos fenómenos físicos y químicos, por lo que la electrónica tendrá que evolucionar a la nanoelectrónica, una rama de la nanociencia y la nanotecnología.

Propiedades de los electrones

Masa $m = 9.1 \times 10^{-31}$ Kg
Carga eléctrica $e = -1.6 \times 10^{-19}$ Coulombs
Espín: $m_s = \pm 1/2$

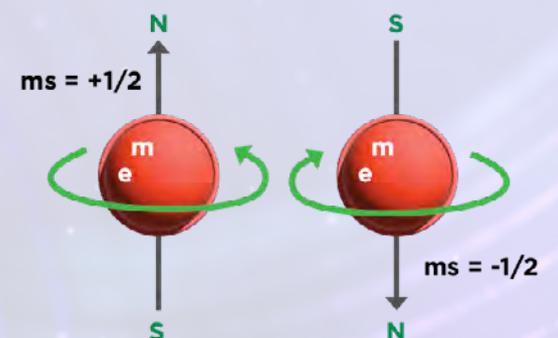


Figura 2. En mecánica cuántica, el espín se describe en términos de dos valores: $m_s = +1/2$ o $m_s = -1/2$.

¹ Una corriente eléctrica es un flujo de electrones, partículas elementales con propiedades intrínsecas como: la masa, la carga y el espín (ver Figura 2).

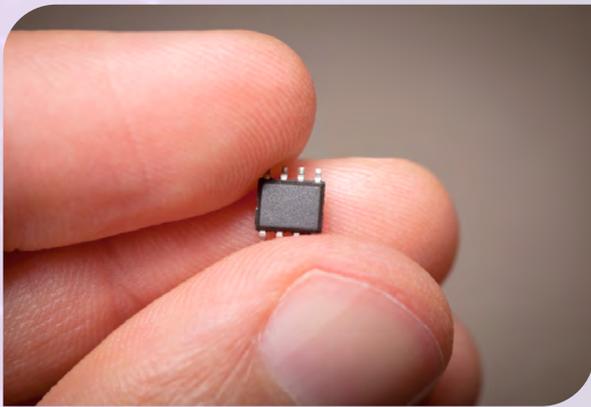


Figura 3. Un chip semiconductor está compuesto fundamentalmente por silicio.

Crédito de fotografía: www.engineering.com/

El progreso en esta área requiere de nano-dispositivos que se encuentran en desarrollo, como los transistores de nanotubos de carbono o grafeno. Sin embargo, la reducción en las dimensiones de los materiales y dispositivos usados en la electrónica tiene un límite físico.

A medida que nos acercamos a escalas de fabricación menores a nanómetros, los desafíos tecnológicos aumentan significativamente. Aparecen problemas como fugas de corriente eléctrica y limitaciones en la precisión de los procesos de fabricación, lo cual complica la continua reducción del tamaño de los transistores, y hace más difícil mantener la fiabilidad y la eficiencia energética.

Científicos y tecnólogos investigan y exploran diversas soluciones; una de las más prometedoras es el desarrollo de tecnologías alternativas, como la espintrónica, que podría ofrecer formas completamente diferentes para aumentar el poder de procesamiento sin depender de la miniaturización de los transistores.

Los electrones, además de carga eléctrica, tienen otra propiedad intrínseca conocida como espín² (ver Figura 2). La espintrónica utiliza esta propiedad para almacenar, procesar y transmitir información en dispositivos electrónicos. Busca aprovechar el espín para crear dispositivos más eficientes en términos de consumo de

En dimensiones tan pequeñas surgen nuevos fenómenos físicos y químicos.

energía, velocidad y capacidad de almacenamiento de información.

En la electrónica tradicional, cambiar un bit (un estado "1" o "0") de información implica mover electrones, lo que consume energía. En la espintrónica, la información se procesa o almacena mediante la manipulación de los dos estados de espín de los electrones ("arriba" o "abajo"), lo cual puede ocurrir a velocidades significativamente más altas que las de los electrones moviéndose a través de un circuito electrónico. Esta manipulación se realiza utilizando campos magnéticos; los cambios de estados de espín pueden ocurrir con mucho menos energía en comparación con la utilizada para el control de la carga de los electrones que se realiza en la electrónica convencional. Por eso, la espintrónica tiene el potencial de ser más rápida y eficiente.

La espintrónica puede ir más allá del lenguaje binario sencillo de la computación clásica. En la mecánica cuántica, un electrón puede estar en un estado de su-

perposición de sus dos estados de espín (estado cuántico), simultáneamente, hasta que se mide y "colapsa" a un estado específico. Es un sistema que no solo tiene dos opciones para representar información, sino una extensa variedad.

Esa capacidad de estar en múltiples estados a la vez abre la puerta a la codificación de información más compleja, en comparación con la electrónica convencional, y se conoce como *computación cuántica*, misma que da pie a nuevas posibilidades para la transmisión de datos, la comunicación y procesamiento de información.

Todavía está en una fase de investigación y desarrollo, por lo que la espintrónica se enfrenta a desafíos técnicos significativos en términos de diseño de dispositivos, nuevos materiales y métodos de control de espín. Abordarlos requiere de investigación en física, ciencia de materiales, ingeniería de dispositivos y avances en procesos de fabricación. Lo cierto es que hay un gran interés por explorar el potencial de la espintrónica, para desarrollar la próxima generación de dispositivos computacionales, más avanzados y con aplicaciones mucho más amplias y complejas. 🌐

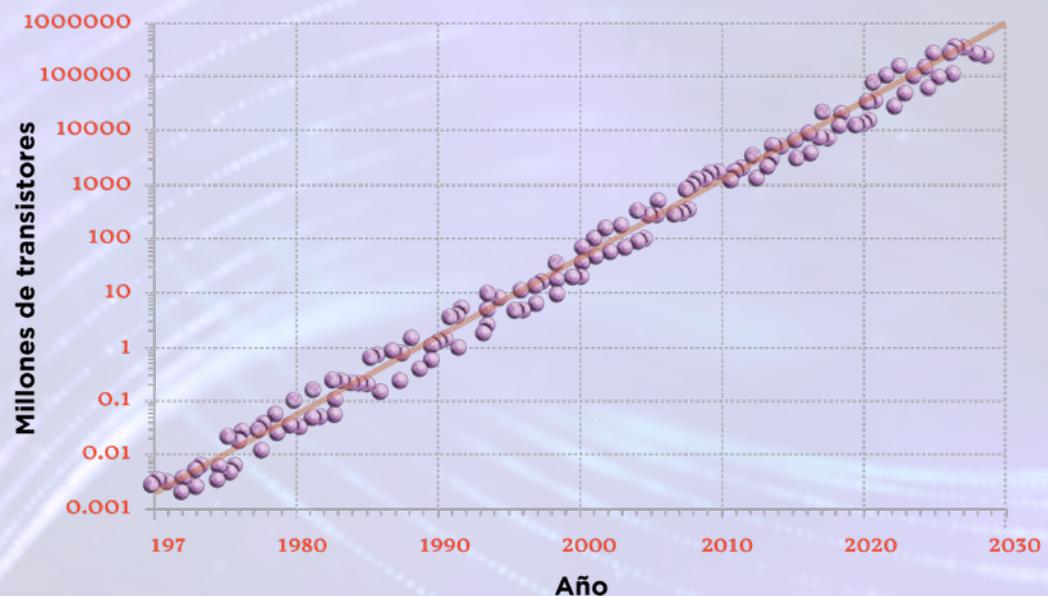


Figura 4. Evolución del número de transistores en un chip a lo largo de los años. Estamos próximos a alcanzar la asombrosa cifra de un billón de transistores en un solo chip.

² El espín se relaciona con el "giro" o flujo de energía.



José Luis Morán López
INSTITUTO POTOSINO DE
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
Y TECNOLÓGICA



Faustino Aguilera Granja
INSTITUTO DE FÍSICA,
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ

✉ josluis.moran@ipicyt.edu.mx

✉ faustino@ifisica.uaslp.mx

IMANES EXTREMADAMENTE PEQUEÑOS

La mayor parte de los dispositivos electrónicos, equipos de cómputo y de comunicación tienen, entre sus componentes, un número importante de imanes que realizan diversas funciones. La miniaturización de los equipos electrónicos y el desarrollo de enormes capacidades para almacenar datos se debe a sistemas magnéticos con dimensiones diminutas.

El estudio y la aplicación de nuevos materiales magnéticos, el control de los procesos que los involucran y la búsqueda de imanes cada vez más pequeños, mantienen ocupados a un gran número de científicos en todo el mundo, y se invierten millones de dólares para estos fines. Tomemos un vehículo moderno como ejemplo de su importancia: utiliza múltiples dispositivos electrónicos, como imanes para hacer funcionar el sistema de encendido, el motor, la dirección hidráulica, el aire acondicionado y una gran variedad de sensores (ver Figura 1).

El magnetismo se conoce desde hace más de 2000 años, pero fue hasta finales del siglo XIX que se empezaron a descubrir los fundamentos de las propiedades magnéticas de los materia-

les y de los átomos. En los materiales, las propiedades magnéticas son originadas, principalmente, por los electrones que conforman los átomos.

Una de esas propiedades es el *espín*. En términos simples es el imán más pequeño que existe en la naturaleza; una propiedad intrínseca de la materia (innata de los electrones), como la carga o la masa. Se representa como una flecha que puede apuntar hacia arriba o hacia abajo, y se dice que es un vector.

Cuando forman parte de un elemento químico, hay reglas dictadas por la mecánica cuántica que indican cómo se acomodan los espines, y originan un vector resultante llamado *momento magnético*. Cuando se unen los átomos para formar moléculas o agregados atómicos de mayor dimensión, los momentos magnéticos

atómicos se orientan aleatoriamente y no muestran propiedades magnéticas a temperatura ambiente.

Solo algunos elementos químicos de la tabla periódica poseen propiedades magnéticas a temperatura ambiente. Los más conocidos son el hierro, el níquel y el cobalto; se les llama ferromagnéticos y, cuando sus momentos magnéticos forman un cuerpo macroscópico (que puede ser observado a simple vista), se alinean paralelamente. Un pedazo de ferrita (óxido de hierro) está compuesto de miles de pequeñas regiones en las que los momentos magnéticos atómicos están orientados en la misma dirección; a estos pedazos de material se le llama *dominios*.

Para orientar los dominios en la misma dirección es necesario someter el material a un factor externo llamado campo magnético, producido por otros medios. A este proceso se le llama *magnetización*; una vez orientados, los dominios mantienen la orientación inducida al retirar-

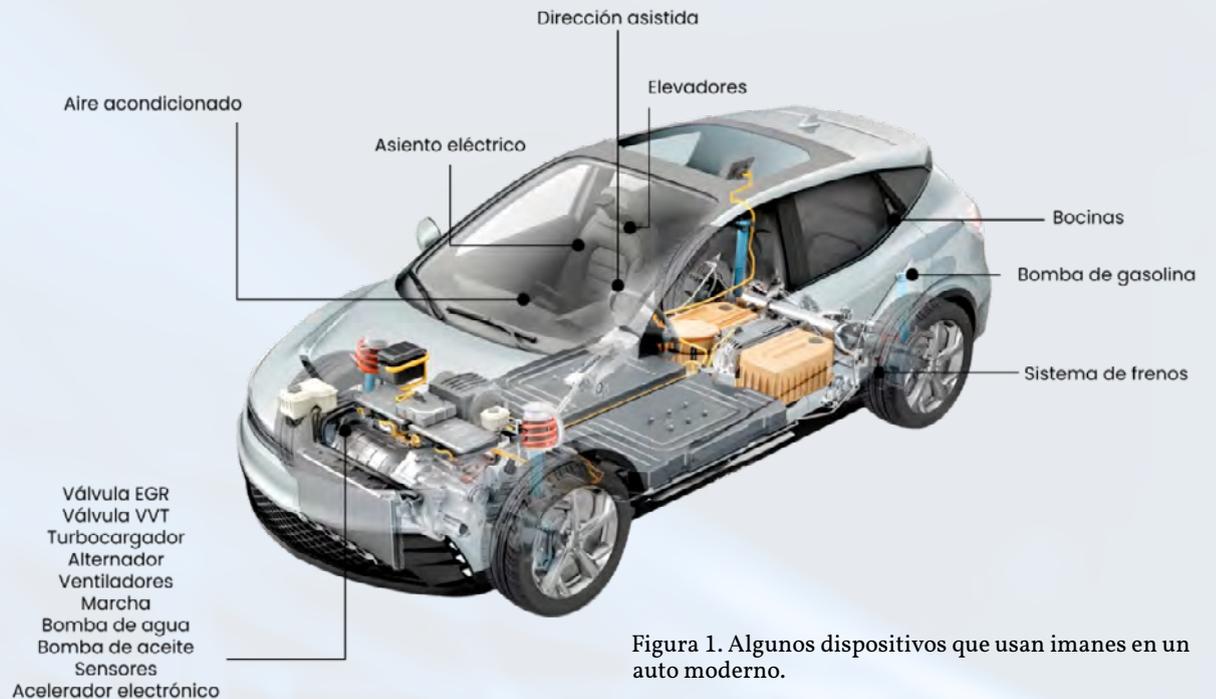


Figura 1. Algunos dispositivos que usan imanes en un auto moderno.

La miniaturización de equipos electrónicos se debe a sistemas magnéticos con dimensiones diminutas.

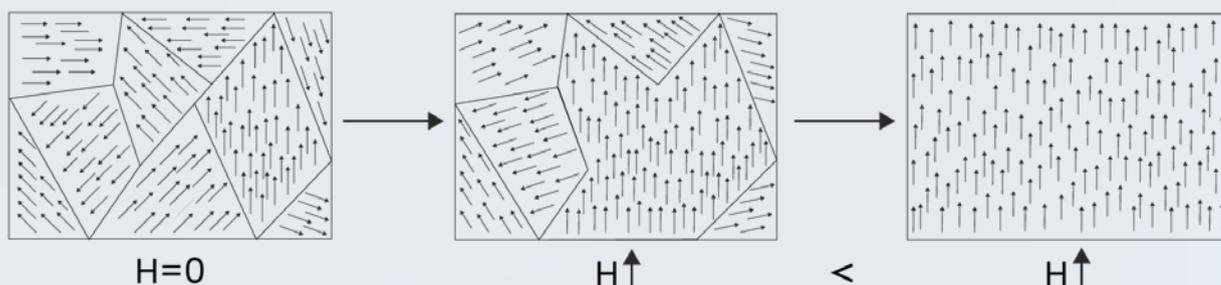


Figura 2. Dominios que forman un material magnético. Las flechas representan átomos alineados. Cada región con átomos alineados es un dominio.

se el campo aplicado. El resultado es un imán permanente o magneto.

En la Figura 2 se muestran los dominios magnéticos. En el primer caso, el campo magnético aplicado es cero, y en los dos siguientes se muestra lo que sucede si se aplica un campo magnético. Este es mayor en la tercera figura, donde todos los dominios están orientados hacia arriba... ¡el material se ha magnetizado!

La propiedad que caracteriza la potencia de un magneto es la *densidad de energía*, y esta se mide en kilojoules por metro cúbico (kJ/m^3); ese valor indica qué tan fuerte atrae o repele otro imán. En 1880, los mejores materiales magnéticos eran aceros, con un valor de $2 \text{ kJ}/\text{m}^3$. Buscando nuevos materiales se encontraron algunos basados en varios elementos químicos. Los imanes más potentes contienen neodimio, hierro y boro, tienen un parámetro de energía de $512 \text{ kJ}/\text{m}^3$, y se utilizan en sistemas de grabación. ¡Y continúa la búsqueda de nuevos materiales con densidades de energía lo más grande posible!

También se ha tratado de disminuir el tamaño de los dominios magnéticos, crucial en el almacenamiento de datos con base en la grabación magnética. Entre más pequeños sean los dominios, la densidad de almacenamiento de información será mayor.

Originalmente se depositaba el material magnético en cintas que se transportaban y se hacían pasar por *cabezas* de escritura y lectura, principalmente para almacenar señales de audio y video. En las últimas décadas tuvimos cartuchos de música de 8 pistas, *cassettes* y cintas para grabadoras de carrete. Para la videograbación se desarrollaron los formatos VHS y Beta. En cada nuevo desarrollo se podía almacenar una cantidad mayor de información y con mejor calidad.

Para almacenar datos en sistemas de cómputo, los avances han sido más espectaculares. En sus inicios, las computadoras ocupaban salas enteras y tenían una capacidad de almacenamiento que ahora se consigue con discos duros accesibles en el mercado. En 1956, la compañía IBM presentó el primer sistema basado en discos magnéticos, el 350 RAMAC; podía almacenar un total de 5 millones de caracteres, y su velocidad era de $8,800 \text{ bytes}/\text{s}$.

En 1973, IBM desarrolló el disco 3340 (disco Winchester), con una capacidad de 35 megabytes , precursor de los discos duros actuales.

La capacidad y velocidad de grabación y lectura en los discos duros sigue en aumento. Hoy existen discos de hasta 1 terabyte de capacidad y velocidades de hasta $200 \text{ megabytes}/\text{s}$.

Para uso personal o de oficina se diseñaron sistemas de almacenamiento magnético en forma de discos flexibles. En 1970, IBM presentó el primero, de 8 pulgadas, con capacidad de 80 kilobytes . Seis años después, Shugart Associates introdujo el primer disquete de $5\frac{1}{4}$ pulgadas, con una capacidad de 90 kilobytes (el SA400). Sony presentó, en 1981, el primer disquete con formato de $3\frac{1}{2}$ pulgadas, con una capacidad de 280 kilobytes . En este formato se ha conseguido almacenar hasta 240 megabytes de información (ver Figura 3).

El incremento en la cantidad de almacenamiento ha sido posible gracias a la fabricación de sistemas con dominios magnéticos de menor dimensión. En 1955, la densidad de grabación era de $0.25 \text{ kilobytes}/\text{in}^2$, para el año 2000 esa cantidad subió a $0.25 \text{ gigabytes}/\text{in}^2$, y en la actualidad alcanza el valor de cientos de $\text{terabytes}/\text{in}^2$.

Se ha logrado sintetizar materiales que almacenan 1,000 millones de veces más información que los sistemas de 1955. Con esas dimensiones, un dominio está formado de solo cientos de átomos. Hoy, el tamaño de los dominios es de 10 nanómetros; estamos llegando al límite físico, que es un átomo. ●

En términos simples, el espín es el imán más pequeño que existe en la naturaleza.



Figura 3. Discos flexibles de diferente capacidad de almacenamiento magnético.



Verónica Quilumba Dutan



José Luis Rodríguez López

INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.

Verónica Alexandra Quilumba Dutan

runlikehellpuma@gmail.com

NANOMEDICINA: LA SALUD DE HOY Y MAÑANA EN BUENAS MANOS

Cuando yo, Verónica, nacida en el Ecuador, estaba a punto de graduarme de la secundaria, tenía un gran deseo por estudiar medicina, con el anhelo de curar las enfermedades de la gente. Luché mucho por un lugar para ingresar a esta carrera en una universidad pública, pero éramos tantos estudiantes con la misma aspiración y la competencia era tan dura, que ese sueño parecía escaparse de mis manos.

Mientras me preparaba para un tercer examen de admisión, se presentó la oportunidad de estudiar otra carrera muy interesante. Fue así como, luego de mudarme a otra ciudad, me aventuré hacia la vida académica en la Universidad Yachay Tech, de Ecuador, donde fui cautivada por la nanociencia y la nanotecnología.

Fue muy emocionante descubrir una puerta abierta hacia la investigación en la medicina.

La nanomedicina involucra el uso de la nanotecnología para el desarrollo de materiales que puedan ser útiles en el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades, como vacunas, fármacos, sensores, geles, dispositivos de imagen e implantes (Soares et al., 2018).

También es posible reducir los efectos secundarios de algunos medicamentos mediante el uso de nano-portadores que los encapsulan y los liberan únicamente en el sitio afectado. En la oncología, que es el estudio y tratamiento del cáncer, se ha buscado incansablemente reducir los efectos perjudiciales de la quimioterapia y la radioterapia, ya que estos métodos de tratamiento no distinguen entre tejidos cancerosos y tejidos sanos (Bayda et al., 2019). Gracias a la nanomedicina se puede maximizar la eficiencia de los fármacos, al mejorar su especificidad y distribución dentro del cuerpo, lo cual reduce su toxicidad (ver Figura 1).

Los genes contienen la información genética de los seres vivos (su expresión genética), pero cuando la expresión de los genes se altera, ocurren una variedad de enfermedades. Así, la nanomedicina permite el silenciamiento

dirigido de genes como herramienta terapéutica¹. Mediante esta herramienta pueden ser tratadas enfermedades como el cáncer, los desórdenes autoinmunes, o las infecciones virales, usando un elemento silenciador, como un ácido ribonucleico (ARN) de interferencia que llegue hasta el citosol, líquido que se encuentra dentro de las células.

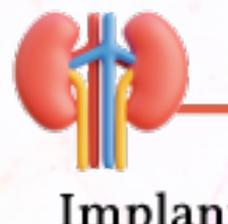
Sin embargo, pueden existir limitaciones para que el ARN llegue al citosol, debido a la pérdida de su estabilidad al entrar en contacto con el ambiente celular. Este problema puede ser resuelto encapsulando el ARN en nanopartículas que lo protejan de agentes externos como el fluido intracelular y, de esta forma, pueda llegar a su destino. Existen numerosas aplicaciones de la nanomedicina en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares, oculares, cerebrales, del sistema nervioso, entre otras (Anjum et al., 2021).

Para que un producto clínico desarrollado con nanotecnología pueda entrar en el mercado se deben realizar varios estudios (Soares et al., 2018). En términos generales, primero se evalúan sus propiedades físicas y químicas, como tamaño, forma, composición química y carga superficial². Estas características determinarán el comportamiento del fármaco dentro del cuerpo humano.

Gracias a la nanomedicina se puede maximizar la eficiencia de los fármacos.

¹ El silenciamiento consiste en poner un control, un "alto" que inhibe los genes alterados.

² Carga eléctrica presente en la superficie.



También se evalúa su compatibilidad con el medio biológico (biocompatibilidad), de modo que podamos predecir cómo se comportará dentro del cuerpo humano y si tendrá algún efecto tóxico. Para ello se realizan ensayos

Entre los avances más recientes se encuentran dos vacunas para el tratamiento del SARS-CoV-2.

preclínicos, que involucran la prueba de los nanomateriales en células (*in vitro*), en laboratorio, y luego en animales (*in vivo*).

Finalmente, los nuevos productos deben cumplir una escala de reproducibilidad. Con la manufactura a pequeña escala, como la que se lleva a cabo en un laboratorio, es fácil lograr y mantener las propiedades deseadas, pero durante la manufactura a gran escala se pueden producir variaciones en las propiedades del nanomaterial, lo cual compromete su calidad, seguridad, e incluso su perfil terapéutico.

Algunos productos que liberan fármacos (y que incluyen nanotecnología) ya han sido aprobados para su comercialización por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés); se diseñaron para tratar, entre otras enfermedades, la artritis, anemia, hepatitis, y cáncer (Bobo et al., 2016).

Entre los avances más recientes, desde la perspectiva de la nanomedicina, se encuentran las vacunas Pfizer-BioNTech y Moderna aprobadas en 2021 para el tratamiento del SARS-CoV-2 (Jiménez, 2022).

Adicionalmente se busca avanzar en el área de la ingeniería de tejidos usando biomateriales nanoestructurados, el diseño de nanodispositivos para la detección de enfermedades en etapas tem-

La nanomedicina...

- Mejora la especificidad y distribución de un fármaco dentro del cuerpo.
- Reduce los efectos secundarios de los fármacos.
- Mejora la calidad de vida del paciente.



pranas, y el desarrollo de sistemas de imagen que permitan visualizar tejidos enfermos, como tumores. Asimismo, se continúa investigando respecto al uso de terapias alternativas contra el cáncer, como las hipertérmicas.

En el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. se investiga un sistema de tratamiento contra el cáncer de mama y el cervicouterino, usando nanopartículas de oro en forma de estrella, las cuales se calientan cuando son expuestas a radiación infrarroja, y tienen la capacidad de actuar únicamente cuando han alcanzado específicamente a las células cancerosas, evitando así dañar a las células sanas. Estos nanosistemas se conocen como sistemas flecha-diana.

El mundo de la nanociencia y la nanotecnología es reciente y, por lo tanto, aún existe mucho trabajo pendiente en relación con el estudio de los peligros que puede ocasionar en el ser humano y el medio ambiente. Actualmente, México no cuenta con regulaciones para la nanotecnología y los productos que se generan a partir de esta (Saldívar, 2021), por lo cual es necesario crear políticas que garanticen un desarrollo controlado y, sobre todo, dirigido a cubrir las necesidades del país con responsabilidad socioambiental. ●

Imagenología

Liberación de fármacos

Figura 1. Aplicaciones de la nanomedicina.



Penélope Rodríguez-Zamora



Ignacio L. Garzón

INSTITUTO DE FÍSICA, UNAM

✕ @penelope_rz ✕ @IgnacioLGarzon

NANOMATERIALES QUIRALES: UN ÁTOMO CUENTA



Figura 1. Mano frente a espejo / Manos superpuestas.

Uno de los descubrimientos científicos más relevantes para la humanidad, ocurrido en la década de los años 80, es la existencia de nuevas propiedades y fenómenos que suceden en la materia, a escala nanométrica. 1 nanómetro (nm) equivale a la millonésima parte de 1 milímetro; en esta escala, los nanomateriales (de tamaño entre 0.5 y 100 nm) están compuestos de un número finito de átomos, entre 10 y 10 millones.

Aunque Richard Feynman profetizó, en 1959, que no había una ley física que impidiera fabricar nanomateriales al combinar átomos individuales, fue hasta los años 80 que varios grupos de investigación en el mundo lograron la síntesis¹ de estos sistemas, utilizando diversos métodos físicos y químicos.

En 1985, Richard Smalley y colaboradores sintetizaron el fullereno C_{60} , una nanopartícula hueca y estable, con 60 átomos de carbono. Este logro les valió el Premio Nobel de Química en 1996, y marcó el nacimiento de un campo de investigación: la nanociencia, dedicada a descubrir, entender y predecir las nuevas propiedades y fenómenos existentes en los nanomateriales.

Algunas propiedades cambian abruptamente al aumentar o disminuir el tamaño por un solo átomo.

Esta área de la ciencia es multidisciplinaria, pues usa enfoques y metodologías de la física, la química, la ciencia e ingeniería de materiales y la biología, lo que ha favorecido la creación de adelantos nanotecnológicos con aplicaciones en nanomedicina, nanoelectrónica, nanocatálisis, etc.

La nanociencia ha superado grandes desafíos, dando lugar a nuevas e inesperadas propiedades físicoquímicas. Algunos retos aún no se resuelven; propiedades como las electromagnéticas y catalíticas, color o morfología pueden sufrir cambios abruptos al aumentar o disminuir el tamaño del nanomaterial por un solo átomo. Es asombroso.

Una de las propiedades más interesantes desplegada por algunos nanomateriales es la *quiralidad*, conocida en moléculas, superficies, cristales y otros sistemas. Esta indica que la imagen espejo de un nano-objeto quiral no se puede

de superponer completamente con el nano-objeto original.

En términos generales, un objeto quiral no es idéntico a su imagen espejo, propiedad geométrica que podemos ejemplificar con nuestras propias manos (de hecho, la palabra quiralidad viene del griego *kheir*, que significa mano): a pesar de que las manos izquierda y derecha son muy parecidas, siempre podemos diferenciar una de la otra. Si colocamos nuestra mano derecha frente a un espejo, el reflejo será una imagen de la mano izquierda, pero si las superponemos (una sobre la otra) no coinciden (ver Figura 1).

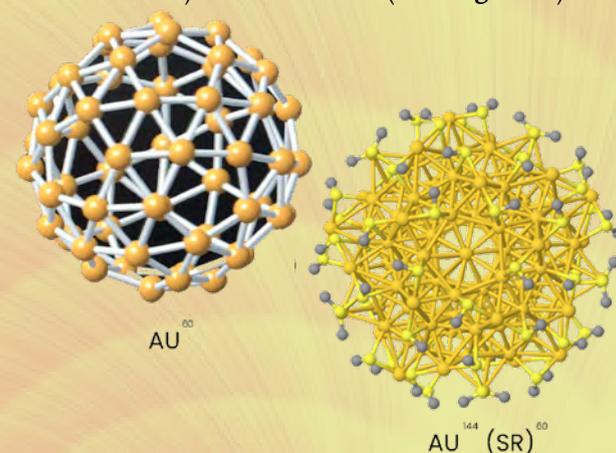


Figura 2. Nanopartículas quirales de oro y su imagen espejo.

¹ Obtención de un compuesto a partir de otras sustancias.

¿Por qué es tan importante la quiralidad? Porque está presente en distintas escalas, desde la astronómica hasta la subatómica. En particular, en la escala molecular encontramos dos efectos esenciales para la vida: los azúcares que forman el ADN tienen quiralidad derecha, mientras que los aminoácidos que conforman las proteínas, son moléculas con quiralidad izquierda. La quiralidad molecular es trascendental para los humanos (y para todos los seres vivos).

Más del 50% de los medicamentos que curan enfermedades contiene moléculas quirales como sustancias activas. Esta característica se desconocía en los años 50 lo que, lamentablemente, provocó daños irreparables en los fetos de mujeres embarazadas que fueron recetadas con una pastilla que contenía una mezcla de moléculas con quiralidad izquierda y derecha. Cuando se realizó un análisis detallado se encontró que, mientras que la molécula con quiralidad derecha quitaba las náuseas, la molécula con quiralidad izquierda deformaba a los fetos, llevándolos a la muerte.

A partir del año 2000 se inició el estudio de la quiralidad en la nanoescala, al demostrarse la existencia de actividad óptica causada por la quiralidad en nanopartículas de oro protegidas con ligandos orgánicos quirales². También se han hecho predicciones teóricas sobre la existencia de nanopartículas con 34, 55, 60 y 72 áto-

² En este contexto, un *ligando* es una molécula adsorbida ("ligada") a la superficie de la nanopartícula metálica. Un *ligando orgánico quiral* es una molécula orgánica (compuesto que contiene átomos de carbono e hidrógeno, formando enlaces entre ellos y con otros elementos) con quiralidad, ya sea izquierda o derecha, que está adsorbida en la superficie de la nanopartícula metálica.

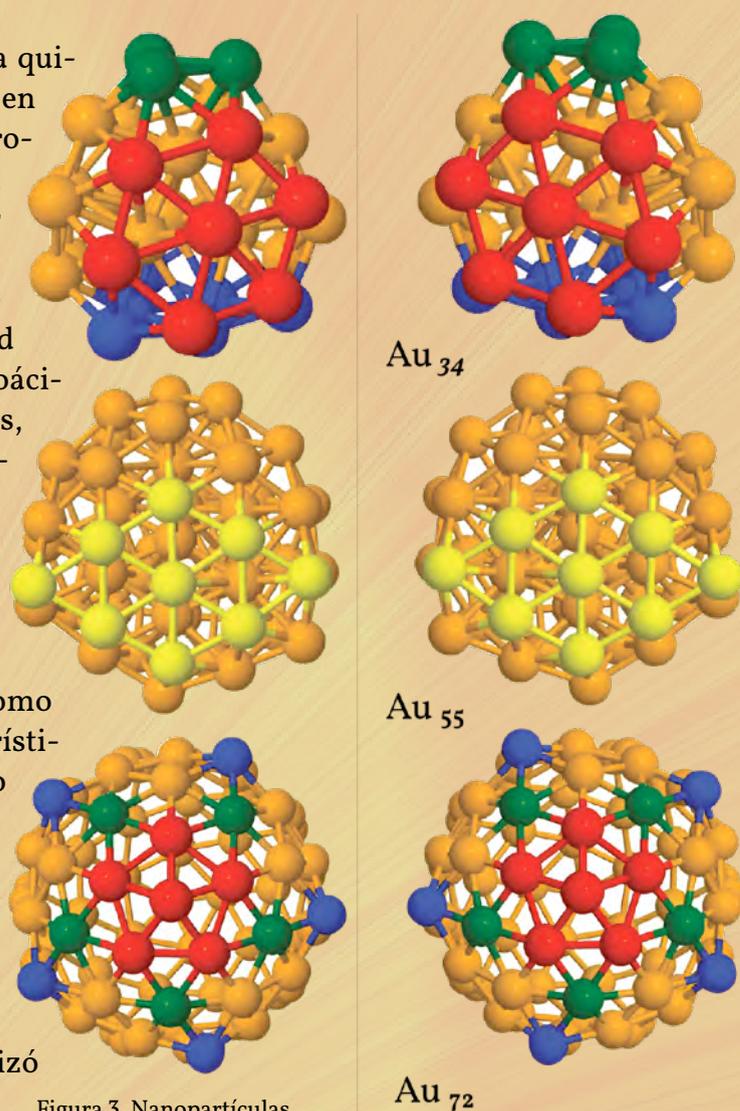


Figura 3. Nanopartículas quirales sin y con ligandos moleculares.

mos de oro con quiralidad intrínseca, es decir,

sin la necesidad de estar protegidas por moléculas quirales (ver Figuras 2 y 3); esto trae consigo modificaciones fisicoquímicas que resultan en nuevas propiedades con potencial para múltiples aplicaciones tecnológicas en nanodispositivos ópticos, nanomedicina, nanoelectrónica, etc.

Por ejemplo, considerando la naturaleza quiral de moléculas, proteínas y células, en el ámbito de la nanomedicina (ver Figura 4) las nanopartículas metálicas quirales se pueden utilizar para propiciar o inhibir el crecimiento y proliferación celular, o para detectar moléculas y proteínas asociadas a enfermedades como Alzheimer o Parkinson, primer paso para

diagnosticar procesos degenerativos en el organismo humano.

Experimentos que han puesto a prueba la respuesta inmune del cuerpo humano demuestran que esta es sensible a la quiralidad de nanopartículas de oro con cisteína (Xu et al., 2022), uno de los veinte aminoácidos que nos constituyen, lo cual indica que es posible regular el crecimiento de las células del sistema inmune utilizando la quiralidad en la nanoescala. Esto ha tenido efectos favorables en tratamientos de cáncer y como coadyuvante para la vacunación contra el virus de la influenza (Gao et al., 2024) y el SARS-CoV-2.

Es contundente: gracias a la quiralidad en las nuevas propiedades fisicoquímicas de los nanomateriales, se pueden resolver problemas relacionados con la salud y la contaminación, o generar nuevas fuentes de energía. Es gratificante saber que, a lo largo y ancho de nuestro país, existen varios grupos de investigación interesados en desarrollar avances para descubrir, entender y utilizar las nuevas propiedades de los nanomateriales quirales. ●

Figura 4. La nanomedicina pasó de ser ciencia ficción [como en *Viaje fantástico* (1966), película protagonizada por Stephen Boyd y Raquel Welch sobre un grupo de científicos que se hacen diminutos para acceder en submarino al sistema sanguíneo de un colega y, así, remover un coágulo de sangre en el cerebro] a ciencia aplicada.





M. Edith Navarro Segura



Margarita Sánchez Domínguez

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C., MONTERREY

CIENCIA EN ACCIÓN CONTRA SUSTANCIAS TÓXICAS

Tienen propiedades únicas de resistencia a la grasa y al agua, gracias a su cadena de átomos de carbono y flúor, pero son muy tóxicas: son las sustancias perfluoro y polifluoroalquiladas (PFAS, por sus siglas en inglés). Como el enlace carbono-flúor es extremadamente fuerte, las PFAS no se degradan de manera natural y permanecen en el medio ambiente por muchísimos años, de ahí el mote “*forever chemicals*” o “químicos para siempre”. La persistencia es percibida como una propiedad menos peligrosa que la toxicidad, pero a mediano y largo plazo es un factor crítico para que los problemas de contaminación se salgan de control (ver Figura 1).

¿Desde cuándo existen las PFAS?

El primer compuesto fue descubierto, accidentalmente, el 6 de abril de 1938 por el joven Roy J. Plunkett, de tan solo 27 años, quien trabajaba con gases refrigerantes en la fábrica de DuPont (Nueva Jersey). El suceso ocurrió cuando Plunkett y sus colegas inspeccionaron una muestra congelada y comprimida de tetrafluoroetileno y descubrieron que se había polimerizado espontáneamente, pasando de ser un gas a un sólido blanco ceroso; ahora conocemos esa sustancia como teflón.

El teflón es muy inerte (o inactivo) y se considera el mate-

rial más resbaladizo conocido por el hombre; nada puede repeler mejor el agua, la grasa y apagar incendios. ¡Fue el mayor descubrimiento de sus tiempos! Desde entonces se han producido más de 14,000 variedades de PFAS.

Las PFAS y tu salud

Desde hace años estamos expuestos a las PFAS ya que, por sus propiedades de repelencia al agua y al aceite, se utilizan como recubrimientos autolimpiables en infinidad de objetos, desde botellas de champú, utensilios de cocina antiadherentes, empaques de comida rápida, cosméticos, productos de cuidado personal, equipo médico, prendas impermeables, espumas para combatir incendios, etc. y, de alguna manera, pueden lograr transferirse a lo que comemos.

Decir que las PFAS son difíciles de evitar es decir poco. Un estudio de la Universidad de Estocolmo y la Escuela Politécnica Federal de Zúrich, publicado en 2022 y llevado a cabo a lo largo de 10 años, comprobó que hasta el agua de lluvia y de la Antártida están contaminadas con PFAS. Asimismo, se han detectado en fosas marinas, animales de todo el mundo, leche materna, y se sospecha que todos llevamos PFAS en la sangre.

Los efectos adversos se empezaron a estudiar desde 1961, cuando la empresa 3M detectó que se acumulaban en la sangre. En 1999, un granjero de Par-

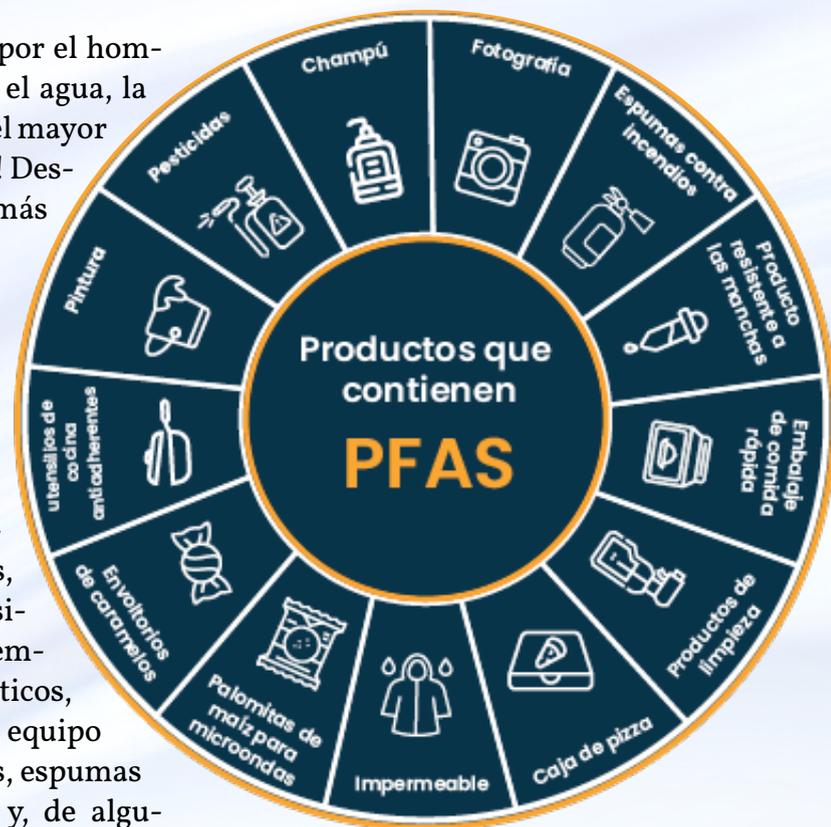


Figura 1. Productos que contienen PFAS.

kersburg, EE. UU. demandó a la empresa DuPont por verter desechos en los cuerpos de agua, causando muerte de ganado y enfermedades varias en la población.

Las PFAS pueden ocasionar: menor respuesta de anticuerpos a algunas vacunas en niños, bajo peso al nacer, hipertensión en el embarazo, aumento en colesterol, afectaciones en el sistema reproductivo y a las enzimas del hígado, colitis, tiroiditis y cáncer de riñón, de próstata, de testículos, etc.

Regulación en México y el mundo

En México todavía no se han establecido límites para los PFAS. En abril del 2024, la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) propuso establecer límites de 4 partes por

Las PFAS no se degradan de manera natural y permanecen en el medio ambiente por muchos años.

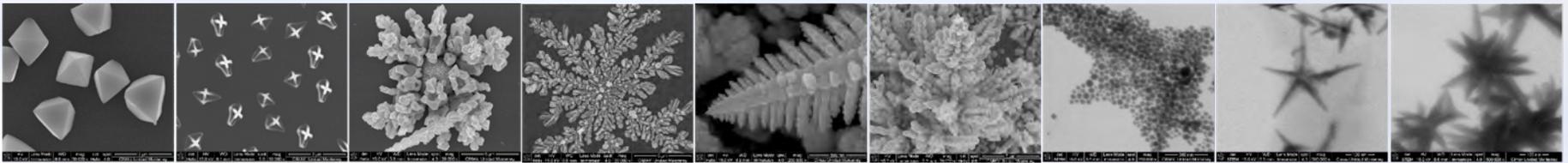


Figura 2. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de los sustratos SERS, basados en nanoestructuras de oro y plata con diversas morfologías². Créditos: Dra. M. Edith Navarro Segura y Dra. Margarita Sánchez Domínguez.

trillón (ppt) para los PFAS más abundantes, como el ácido perfluorooctanoico (PFOA) y el ácido perfluorooctanosulfónico (PFOS); esto equivale a niveles tan bajos como encontrar solo 4 nanogramos (1×10^{-9} gramos) en 1 litro.

En Europa se están desarrollando propuestas similares. El método convencional de análisis de PFAS implica una etapa laboriosa de tratamiento y análisis de la muestra. En EE. UU. el análisis de una muestra cuesta entre \$300 y \$600 USD, y suele tardar varias semanas en desarrollarse. Estos métodos consumen muchísimo tiempo, recursos, y personal especializado.

Nuestra experiencia en análisis de PFAS

En el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV), subsección Monterrey, hemos intensificado la investigación de métodos analíticos alternativos, capaces de detectar PFAS selectivamente, a niveles de trazas (en concentración muy baja), de una manera más simple, económica, rápida, eficiente y con el potencial de ser implementados en sistemas portátiles para medir directamente en sitios de interés, como presas, tanques de agua potable, o plantas tratadoras.

Este proyecto, liderado por las autoras, en colaboración con un grupo interdisciplinario de las tres sedes de CIMAV e instituciones externas, se centra en desarrollar sensores conocidos como sustratos SERS (dispersión Raman mejorada en

superficies) basados en nanoestructuras de metales nobles como oro, plata y cobre (ver Figura 2), altamente sensibles para la detección de PFAS en agua a niveles de trazas.

El método SERS se utiliza para magnificar la obtención de la “huella digital” característica de las moléculas. Esto permite analizar, cualitativa y cuantitativamente, una muestra a concentraciones muy bajas, incluso a nivel de moléculas individuales.

En CIMAV hemos detectado bajas concentraciones de este tipo de moléculas equivalente a 0.4 ppt de PFOA, cumpliendo holgadamente con los límites de la EPA de 4 ppt (ver Figura 3). La técnica de SERS tiene una alta sensibilidad de de-

tección permitiendo identificar, incluso, 1-10 moléculas. ¡Esto es impresionante y muy esperanzador para tener, al fin, agua pura y libre de contaminantes en nuestro hogar!

En nuestras próximas investigaciones analizaremos muestras reales: agua de lluvia, de plantas tratadoras, y tanques de agua potable de Nuevo León, Chihuahua y Durango. Además trabajamos en la síntesis de los llamados MOFs (redes metal orgánicas), materiales que tienen una alta capacidad de adsorción. En un futuro, esperamos desarrollar sistemas para eliminar PFAS y otros contaminantes persistentes del agua potable. Actuamos de manera oportuna en pro del medio ambiente, ya que las metodologías implementadas para la detección y remediación de PFAS presentan un potencial extraordinario. 🌍

Desde hace años estamos expuestos a las PFAS, y pueden lograr transferirse a lo que comemos.

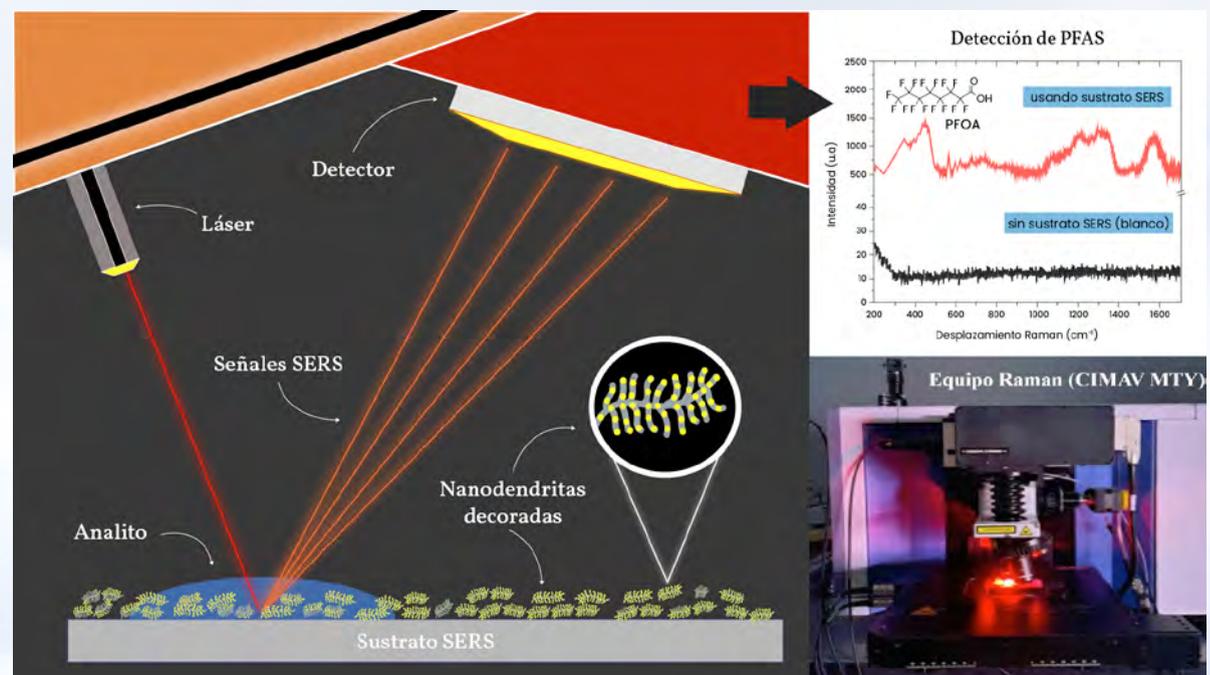


Figura 3. Detección de PFAS por la técnica de SERS³. Créditos: Dra. M. Edith Navarro Segura y Dra. Margarita Sánchez Domínguez.



LA NANOTECNOLOGÍA Y SU LUCHA POR UN LUGAR EN EL SIGLO XXI

Emiliano Cassani

Hace más de dos décadas, Charles M. Vest, entonces presidente del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), predijo lo que la nanotecnología podría significar para la humanidad: "una tercera revolución industrial", expresó con firmeza, anticipando un futuro que solo unos pocos podían vislumbrar.

En pleno siglo XXI, el mercado global de la nanotecnología asciende a los 3.6 mil millones de dólares, y las proyecciones auguran que para 2030 alcanzará los 32.2 mil millones. Pero México no está allí. No hay un programa nacional, una iniciativa, ni una estrategia sólida que impulse esta disciplina que podría cambiar la vida de millones de personas.

La nanotecnología, esa maravilla de lo infinitamente pequeño, donde cada átomo y molécula son hilos de un tejido que podría transformar el mundo, no ha despuntado en nuestro país. ¿Cómo puede explicarse?

La esperanza hecha molécula

En la Universidad Autónoma de San Luis Potosí trabaja una mujer apasionada por la ciencia. La doctora Mildred Quintana Ruíz ha dedicado su vida profesional, junto a su equipo, a desarrollar nanomateriales que podrían limpiar el agua, ese bien tan escaso y preciado que en nuestro país se desperdicia entre fugas y desigualdad. En entrevista para *Obsidiana*, la doctora Quintana nos cuenta cómo las nanociencias podrían ayudar a resolver esta problemática.

"Hemos colaborado con un grupo de hidrobiología de la Academia China de Ciencias, que lleva varios años limpiando el agua en la provincia Wuhan, un lugar lleno de lagos, los cuales estaban muy contaminados, pero en los últimos 20 años, con nanotecnología, se han dedicado a limpiar esas aguas.

"Iniciaron con tratamientos como la sedimentación y filtración. Ahora hay un reto: el agua parece estar limpia, pero tiene contaminantes emergentes, como antibióticos, colorantes, microplásticos, los cuales se pueden remover con procesos convencionales de la ingeniería. Hemos trabajado con el grupo del profesor Wu y el grupo del profesor Song en la Universidad en Wuhan, para hacer nanomateriales que pueden absorber contaminantes, degradarlos con la luz solar, o descomponerlos para eliminar su toxicidad. Con nanopartículas magnéticas podemos remover contaminantes por imanes, o campos magnéticos, o fotocatalizadores que interaccionan con la luz y los rompen o descomponen por medio de formación de especies reactivas de oxígeno".

En México, los descubrimientos y desarrollos tecnológicos de Quintana permanecen en los laboratorios. "No hemos podido aplicar nuestras investigaciones más allá del laboratorio. Ni siquiera en los lagos nacionales".

Promesas incumplidas

En 2001 y 2008, el gobierno mexicano reconoció el valor estratégico de la nanotecnología en su "Programa Especial de Ciencia y Tecnología". Se habló de ella como la llave que abriría las puertas a un futuro más justo, próspero y sustentable. Pero las patentes relacionadas con nanociencia en el país son apenas una

Hemos creado nanomateriales que pueden absorber contaminantes, degradarlos con luz solar, o descomponerlos.

Crédito de imagen: UASLP





Aunque contamos con mentes brillantes, México no está entre los 20 países más avanzados en esta área.

gota en el océano, comparadas con países como China y Estados Unidos, que dominan el campo con miles de publicaciones y patentes.

México no aparece entre los 20 países más avanzados en esta área, aunque contamos con mentes brillantes. Hace falta un plan nacional sólido, una oficina que coordine, y objetivos claros que permitan encaminar esfuerzos hacia el mismo destino. Además, los recursos son escasos.

Cuando Quintana habla de su trabajo, lo hace con la convicción de que la ciencia tiene el poder de cambiar el mundo, pero también con el dolor de saber que esas soluciones no están al alcance de los más necesitados. “Ojalá que la nueva administración escuche a los científicos mexicanos”, expresó.

Soluciones energéticas eficientes

Con nanomateriales es posible producir hidrógeno, que puede ser un combustible limpio. En el futuro, las celdas de hidrógeno podrían generar energía para movernos. También es muy importante contemplar la economía circular. Los materiales que se usan ahora se pueden reutilizar para generar nanomateriales, mencionó la doctora.

“Es complejo, pero se pueden hacer ciclos de reuso. Aquí en el laboratorio, por ejemplo, tengo estudiantes que están trabajando en recuperar el oro y otros metales de los circuitos y componentes electró-

nicos de las computadoras viejas que tiró la universidad. A partir de muchos tipos de basura es posible generar nanomateriales, como carbono activado, grafeno, óxido de grafeno y catalizadores. Toda esa basura vuelve a tener valor, se puede rehusar”.

El futuro que aún podemos alcanzar

Mildred Quintana, a quien en el 2018 le fue otorgado el Premio de Investigación por la Academia Mexicana de Ciencias, la Cátedra Marcos Moshinsky, nos habló del grafeno, un material tan ligero como resistente, capaz de hacer que los edificios no solo desafíen la gravedad, sino también el caos de los terremotos. La empresa mexicana Graphe-nemex ha utilizado este prodigio molecular para crear puentes que, en otros países, como Perú, han salvado vidas y soportado las peores embestidas de la naturaleza.

El potencial del grafeno podría transformar nuestras carreteras, construyendo caminos que no se rompen fácilmente, y que permiten que el agua llegue al corazón de los acuíferos, pero su implementación en México se ha visto truncada por la falta de visión.

La doctora Quintana cree firmemente que la nanotecnología es la llave que México necesita para resolver muchos de sus problemas más urgentes. Desde el tratamiento del agua hasta la creación de materiales más eficientes y sustentables, el potencial está allí, esperando ser liberado.

A pesar de que la nanotecnología fue declarada prioritaria en los planes de desarrollo, el tiempo ha pasado, y la promesa ha quedado atrapada en el aire. Mientras tanto, los científicos claman por un futuro donde la ciencia sea prioridad, y México sigue esperando, con las manos llenas de posibilidades. ●

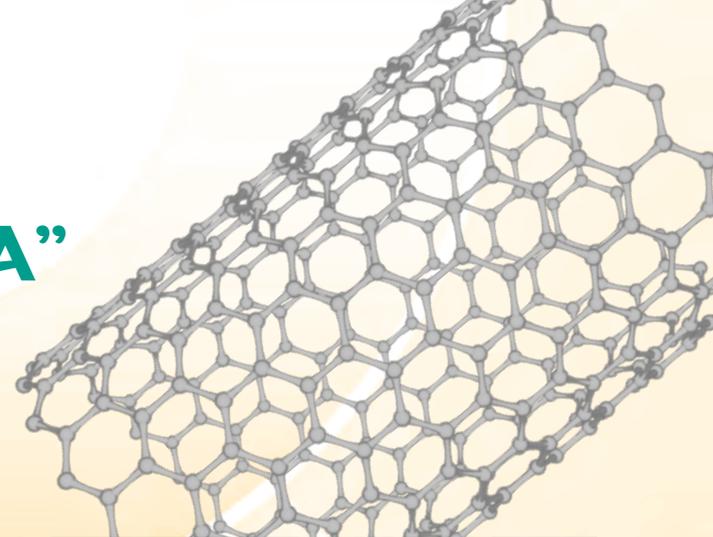




AMORFO

NANOCIENCIA “ATRAPADA” EN EL LABORATORIO

Emiliano Cassani



M

éxico, país vibrante y lleno de contrastes, se enfrenta a una paradoja: en sus laboratorios, los científicos tejen sueños de cambio, innovación y soluciones que puedan responder a las profundas heridas que la sociedad padece. Sin embargo, batallan con presupuestos menguantes, y múltiples desafíos.



Pionera en el estudio de nanopartículas plasmónicas, su trabajo va más allá de lo tangible.

Durante el sexenio que acaba de concluir, una y otra vez, durante las mañanas en Palacio Nacional se lanzó un dardo directo al corazón de la ciencia mexicana. “No rinden cuentas”, se escuchaba, “viven de los recursos del pueblo sin devolver nada”. Estas palabras resonaron entre la comunidad científica como un eco de desprecio.

La doctora Ana Cecilia Noguez Garrido, ampliamente reconocida en el ámbito de las nanociencias, alza la voz desde su laboratorio en el Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En su rostro, que refleja los años de dedicación inquebrantable, se dibuja una mezcla de frustración y esperanza. Ella sabe que México tiene el potencial para ser un país líder en innovación, pero también entiende que, sin el apoyo adecuado, la ciencia no puede avanzar más allá de los experimentos.

“En los años que llevo dedicándome a las nanociencias, he visto muy pocos esfuerzos por tratar de escalar la investigación que hacemos en el laboratorio hacia una planta piloto, o por que se implemente a un nivel cotidiano”, comenta la doctora Noguez.

Ana Cecilia es física y creadora de nuevas realidades, exploradora en los confines más pequeños de la materia, allí donde la luz y la estructura molecular se entrelazan en una danza imperceptible para el ojo humano. Pionera en el estudio de nanopartículas plasmónicas, su trabajo va más allá de lo tangible.

Las nanociencias podrían ser la llave para muchos de los problemas que enfrentamos como país. El tratamiento del agua, la purificación del aire, y la creación de nuevos materiales que transformen la industria son posibles aplicaciones de los estudios que la doctora Noguez y su equipo han realizado durante años.

En México, durante décadas, la inversión en investigación científica ha sido

raquítica. En 2015, el país alcanzó su pico máximo de inversión en ciencia y tecnología, con un 0.55% del Producto Interno Bruto (PIB), porcentaje muy lejano al de los países desarrollados, donde la cifra oscila entre 1.5% y 4.2% del PIB. “Nos han hecho creer que la ciencia es cara”, continúa la doctora Noguez, “pero lo que es realmente costoso es depender de otros países para solucionar nuestros problemas”.

Nuestro país no se ha adaptado a las tendencias internacionales para transitar hacia una economía del conocimiento. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), en 2019 el presupuesto ejecutado en investigación y desarrollo por los tres niveles de gobierno (GBARD, por sus siglas en inglés) ascendió al 0.22% del PIB. Esta cifra nos pone muy lejos de los líderes mundiales en este renglón, así como de Corea del Sur (cuyo gobierno gasta casi el 1% del PIB), y de otras economías de la región, como Argentina, con un gasto gubernamental del 0.4% del PIB. Cada año que pasa sin inversión adecuada es un año perdido en la carrera hacia la soberanía tecnológica y científica.

Lo anterior impacta en la cantidad de investigadores públicos en el país. Según la OCDE, hay solo 5 mil 918, equivalentes a 4.7 investigadores por cada 100 mil habitantes, una proporción baja al comparar con economías de tamaño similar, como Chile, que tiene 8.57 investigadores por cada 100 mil habitantes. La inversión pública en ciencia también tiene un sesgo de género: hay 2 mil 81 mujeres (35.1% del total), unas 3.22 investigadoras por cada 100 mil habitantes.

Las investigaciones de la doctora Noguez sobre nanopartículas plasmónicas podrían cambiar el futuro de la farmacología, la electrónica y hasta el tratamiento de aguas residuales. Ella ha logrado, junto a su equipo, entender la interacción de la luz con diferentes nanoestructuras, avance que podría tener implicaciones revolu-



cionarias. Pero este descubrimiento no ha sido aplicado a la vida real.

Esta desconexión entre el laboratorio y la sociedad es uno de los mayores obstáculos que enfrenta la ciencia en México. La doctora Noguez lo explica con gran claridad: “El trecho que nos falta, muchas veces, es la conexión entre la academia, el gobierno y la industria. No hay forma de que esto se vuelva una realidad sin la participación activa del gobierno, porque son productos y sistemas arriesgados”.

México es un país con grandes desafíos, y podría beneficiarse enormemente de los avances científicos que se están gestando en sus universidades e institutos de investigación. Pero hace falta un puente que permita conectar esos avances con las necesidades reales del pueblo.

Aun así, los científicos continúan luchando. Siguen adelante con escasos recursos, equipos que a menudo son obsoletos, y una burocracia que ralentiza cada paso. Crean en el poder de la ciencia y saben que, aunque los tiempos sean difíciles, la única forma de avanzar es persistir.

Lo que es realmente costoso es depender de otros países para solucionar nuestros problemas.

La doctora Noguez, con su vasta experiencia y sus numerosos reconocimientos internacionales, desea que la ciencia en México se convierta en una herramienta para transformar el país. “Es posible, pero necesitamos voluntad política, recursos y, sobre todo, que la sociedad entienda que la ciencia no es un lujo, es una necesidad”.

Y mientras su voz resuena en los pasillos del Instituto de Física de la UNAM, uno no puede evitar sentir una mezcla de admiración y tristeza, porque en ese laboratorio lleno de gráficos, fórmulas y equipos especializados hay un mundo de posibilidades esperando ser liberado.

El futuro de México depende de su capacidad para enfrentar los desafíos del siglo XXI. Pero, ¿estamos dispuestos a apostar por la ciencia? ¿Estamos listos para dejar de ver la investigación como un gasto y comenzar a verla como una inversión? Las respuestas, al igual que los avances científicos de la doctora Noguez, están ahí. Solo falta la decisión de escucharlas. ●



MILDRED DRESSELHAUS, LA REINA DE LA CIENCIA DEL CARBONO

(1930-2017)

Sus colegas y amigos la recuerdan como una científica excepcionalmente creativa, y un ser humano encantador. Hija de inmigrantes polacos judíos, Mildred S. Dresselhaus nació en Brooklyn, Nueva York, y se convirtió en física y pionera en el estudio de los nanomateriales.

Fue profesora del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) durante 50 años. Sus investigaciones ayudaron a desvelar los misterios del carbono, el más fundamental de los elementos orgánicos, por eso la llamaban “reina de la ciencia del carbono”.

Sus investigaciones ayudaron a desvelar los misterios del carbono.

Hizo descubrimientos fundamentales en la estructura electrónica de los semiconductores, y sobresalen sus estudios sobre nanomateriales y otros sistemas nanoestructurados basados en materiales estratificados, como el grafeno.

Es conocida por ser la primera en explorar el efecto termoelectrico a nanoescala, aprovechando eficazmente la energía de las diferencias de temperatura en materiales conductores de electricidad. Además, desarrolló el concepto de nanotubo, lámina de una sola capa de átomos de carbono increíblemente delgada y resistente.

Hubo más primicias a lo largo de su vida: en 1968 se convirtió en la primera mujer del MIT en alcanzar el rango de profesora titular. Fue la primera en recibir, en solitario, un Premio Kavli de Nanociencia, y también la primera mujer en ganar la Medalla Nacional de Ciencias, en la categoría de ingeniería.

Obtuvo muchos otros galardones, como la Medalla Presidencial de la Libertad, el Premio Enrico Fermi y el Premio Vannevar Bush. En 2014 ingresó al Salón de la Fama de los Inventores Nacionales de Estados Unidos.

También fue notable por su incansable dedicación como docente, y por su valiosa labor para ampliar las oportunidades de las mujeres en la ciencia y la ingeniería, gracias a su generosidad y gran compromiso con la promoción de la igualdad de género en estas áreas, tradicionalmente dominadas por los hombres.



Cuando estudió su carrera universitaria, Mildred fue (varias veces) la única mujer del curso.

Al convertirse en madre, sus superiores fueron poco comprensivos con la situación y su necesidad de compaginar el trabajo con la familia. Seguramente por eso, promover las mujeres en STEM —antes de que se llamara STEM— se convirtió en una de sus pasiones. Sin duda, su legado nos inspira. ●



INTRUSIÓN



EL ARTE DE ARTURO BUITRÓN, MOSTRAR SIN MOSTRAR

Luisa F. González A.

Cada persona mira e interpreta con ojos distintos un mismo objeto, una misma obra de arte. Es parte de lo que Arturo Buitrón busca con cada una de sus pinturas, ofrecer una experiencia muy particular para cada espectador.

Entre sus técnicas favoritas está la encaústica, que utiliza una mezcla de pintura y cera, para dar a sus pinceladas una textura y juego de luces únicos. Nacido en la Ciudad de México, y egresado de la Escuela Nacional de Artes Plásticas de la Universidad Nacional Autónoma de México, Arturo plasma en sus lienzos, de forma abstracta, nubes, naturaleza, edificios o torres, y paisaje aéreo.

En entrevista para *Obsidiana*, explicó cómo concibe su obra: “Reinterpreto lo que veo, a través de la memoria, el espacio, el territorio en donde nos desarrollamos, y siempre como un referente de la existencia. Cada persona tiene una percepción diferente del medio que nos rodea, interactuamos de forma distinta con ese medio o territorio y lo vamos transformando, incluso re interpretando. Y en esa interpretación generamos nuevos significados”.

Desde su visión de artista e individuo, Arturo percibe el mundo como algo maravilloso: “A menudo pienso en el milagro que es este planeta, y que difícilmente se podría repetir en el Universo otro sistema donde haya eso que llamamos vida. Creo que somos unos seres muy raros, porque nos lo estamos acabando, nos creemos eternos, invencibles”.

Los paisajes le fascinan. Considera que no fue intencional, no lo buscó, pero se des-

cubrió pintando paisaje, y pintándose a sí mismo como observador. Confiesa que nunca se ha subido a un globo aerostático para mirar el paisaje desde arriba, pero tiende a pintar paisaje aéreo: “Me encanta soñar que vuelo, y eso influye en las vistas de lo que pinto. Y, aunque nunca aparezco en el lienzo, pretendo pintar lo que me rodea, el entorno en el cual estoy y, desde ese entorno, construyo”.

A Arturo no le gusta hacer denuncia, no busca concientizar, simplemente quiere plasmar en sus cuadros un detonador que nos haga reflexionar. Tampoco le gusta la narrativa, “no me interesa contar historias lineales dentro de la pintura, ni siquiera desde la composición”.

Lo que sí le inspira e interesa es ofrecer una provocación de golpe que permita redescubrir cosas, o para que el espectador viaje dentro de la misma pintura y haga su propia lectura visual de eso que le están presentando.

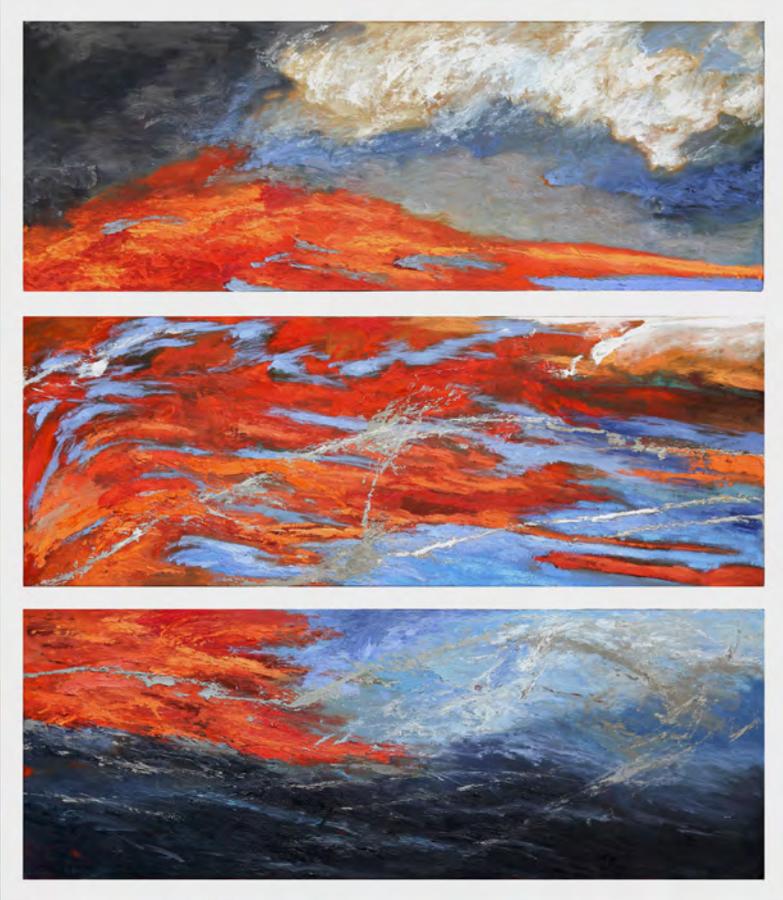
Arturo es un maestro en el arte de mostrar sin mostrar, y lo explica con un ejemplo de su trabajo reciente: “Pinto primero una torre con pretensión realista, para después borrarla con otra capa de pintura, pero dejando el rastro, la huella de esa torre. Es una especie de ocultación con rastro visible”. Así, el observador de su obra debe participar de forma activa, descubrir esa imagen que está, de alguna manera, oculta. ●

Le interesa ofrecer una provocación de golpe que permita redescubrir cosas.





No lo buscó, pero se descubrió
pintando paisaje, y pintándose a
sí mismo como observador.





Conoce más de la obra de Arturo Buitrón en

📷 @arturobuitron

De 1983 a la fecha ha realizado más de 42 exposiciones y proyectos individuales, y ha participado en más de 60 exposiciones colectivas. Su obra forma parte de colecciones del Instituto Nacional de Cancerología, Fundación Sebastián A.C., el Museo Alfredo Zalce de Morelia, el Museo Universitario del Chopo, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la Secretaría de Relaciones Exteriores (mural *Ollin*, en

la embajada de México en Lisboa, Portugal), la Secretaría de Cultura de la Ciudad de México, la Delegación Xochimilco y el Centro de Arte Contemporáneo El Piramidón de Barcelona, España.

Miembro del Sistema Nacional de Creadores de Arte del Fondo Nacional para la Cultura y las Artes (Fonca) en las emisiones 2009 (con el proyecto *Paisaje Rizoma*) y 2014 (con *Círculo abierto*). En 1996

obtuvo la beca de Jóvenes Creadores del Fonca. En 2000 fue becario del Programa de Fomento a Proyectos y Coinversiones Culturales del Fonca y de la Fundación Cultural Bancomer. En 2002 obtuvo una beca del programa Arte por todas partes de la Secretaría de Cultura de la Ciudad de México. A partir de 2014, forma parte del programa de adquisición y promoción del Grupo Milenio.



METAL GEAR SOLID

¿Te encantan la ciencia ficción, los videojuegos de acción y la nanotecnología? Entonces debes probar *Metal Gear Solid*, creada por Hideo Kojima, publicada y distribuida por Konami.

Específicamente, en su cuarta entrega, la doctora Naomi Hunter inyecta nanomáquinas a Solid Snake (el protagonista), que le ayudarán a reponer el suministro de adrenalina y azúcar en su corriente sanguínea; además de medicamentos que ayudan a mejorar el funcionamiento mental, como la benzedrina.

¿Qué esperas para jugar y comparar la ficción con la realidad?



Para todos aquellos curiosos que siempre quieren un poco más de información, compartimos una dosis extra sobre las nanociencias y la nanotecnología. Recomendamos libros, videos, redes sociales y videojuegos para saciar tus dudas o detonar tu creatividad.



El nanomundo al descubierto
Anna Morales
Ediciones Paidós

La nanociencia, un apasionante campo de investigación en pleno desarrollo, promete grandes avances para un futuro (no tan) lejano. Este libro invita a adentrarse en el espacio de lo pequeño para descubrir de qué van realmente la nanociencia y la nanotecnología. Explica cómo se comporta la materia pequeña, sus propiedades, y los distintos instrumentos que existen para observar, medir y manipular la materia a la nanoescala.



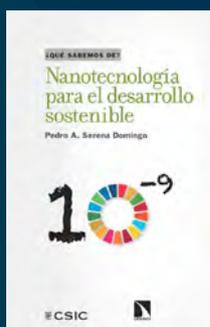
Nanociencia y nanotecnología: La construcción de un mundo mejor átomo por átomo
Noboru Takeuchi
Fondo de Cultura Económica

Para realizar un primer acercamiento a lo que puede convertirse en la revolución tecnológica del siglo XXI, el autor narra cómo surgió esta disciplina, explica sus principios básicos y muestra los instrumentos que permitieron su desarrollo, desde poderosos microscopios atómicos hasta el empleo de bacterias y de ADN en la fabricación de materiales.



El nanomundo en tus manos. Las claves de la nanociencia y la nanotecnología
Elena Casero et. al.
Editorial Crítica

¿Cómo “domesticar” el mundo de lo más pequeño, para construir nuevos dispositivos o instrumentos? Esta obra ayuda a visualizar el significado de la palabra nano, sin recurrir a formulaciones rigurosas; permite conocer y evaluar las consecuencias sociales y éticas de las tecnologías que pronto estarán en nuestros hogares; y muestra cómo se pasa de los experimentos de laboratorio a desarrollos tecnológicos para un mundo nuevo, en el que las posibilidades parecen infinitas.



Nanotecnología para el desarrollo sostenible
Pedro A. Serena Domingo
Los Libros de la Catarata

La ciencia y la tecnología son dos de las herramientas indispensables que pueden ayudar a alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible, y la nanotecnología jugará un papel clave en esa estrategia, junto con otras ramas del saber. Este libro busca conectar el conocimiento sobre el mundo de lo diminuto con las soluciones y estrategias necesarias para lograr la supervivencia de la especie humana, en un adecuado equilibrio con la naturaleza de la que forma parte.



La nanotecnología: el mundo de las máquinas a escala nanométrica
Antonio José Acosta
RBA Libros

Nos fascina la inmensidad del cosmos porque abarca lo grande, pero en él también existe lo muy pequeño. Hemos empezado a controlar los mandos de ese nanomundo y, con sus “ladrillos”, átomos y moléculas, a construir aplicaciones en nuestro beneficio. La nanotecnología desarrolla procedimientos y técnicas revolucionarias con infinidad de usos en múltiples áreas. Descubre todo su potencial, las enormes posibilidades de la escala más pequeña.



El pequeño e increíble nanomundo
Noboru Takeuchi y Marisol Romo
UNAM (Serie Ciencia Pumita)

Todo comenzó un fin de semana, cuando Beto fue al cine con sus amigos a ver una película en la que salían unas peculiares máquinas llamadas nanobots. Así conoció un nuevo e increíble mundo: el de la nanociencia. Con la ayuda de su maestra y su hermana Gaby, Beto quiere entender y compartir contigo su emocionante aventura en este fascinante mundo pequeño.

VIAJE FANTÁSTICO

(1966)

Richard Fleischer

En este clásico de la ciencia ficción, el científico Jan Benes sufre un intento de asesinato. Para salvarlo, el submarino Proteus y su pequeña tripulación son encogidos a tamaño microscópico, e introducidos en el torrente sanguíneo de Benes. Disponen únicamente de una hora para alcanzar los tejidos dañados del cerebro y lograr su curación, antes de volver a su tamaño natural.

Protagonizada por Stephen Boyd, Raquel Welch y Edmond O'Brien, esta película es un asombroso viaje imaginario al interior del cuerpo humano.



Mira el trailer oficial:



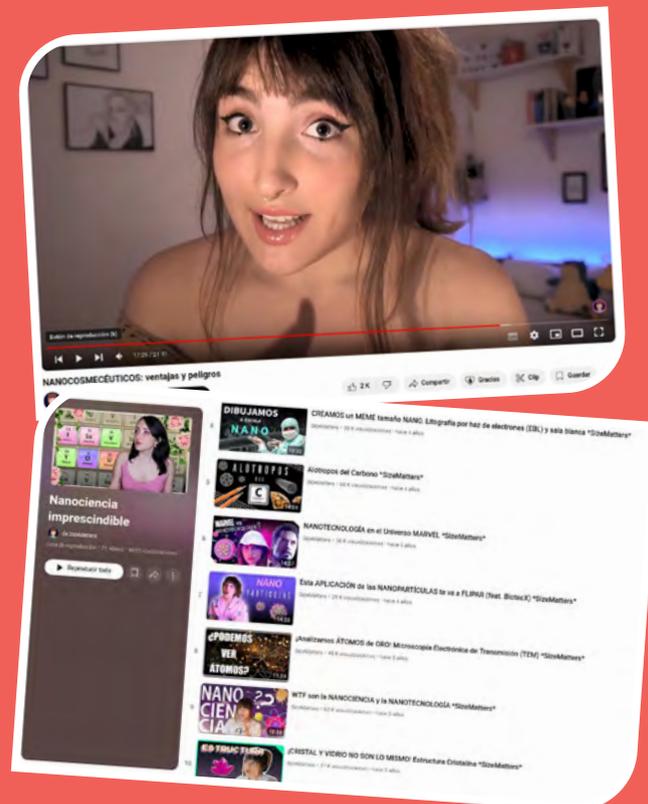
LA TECNOLOGÍA QUE CAMBIA NUESTRA VIDA

Todos los días utilizamos tecnología que mejora y facilita nuestro día a día. Pero, ¿estamos realmente conscientes de cómo trabajan científicos y tecnólogos para inventar cada aparato y aditamento que tenemos? Más aún, ¿has reflexionado respecto a cuánto dependes de la tecnología en tu vida cotidiana?

En esta charla TEDx, Miguel García Guerrero expone cómo es que las moléculas y la nanotecnología juegan un importante papel para desarrollar nuevas tecnologías. ¡Imperdible!



SIZEMATTERS: EL TAMAÑO IMPORTA

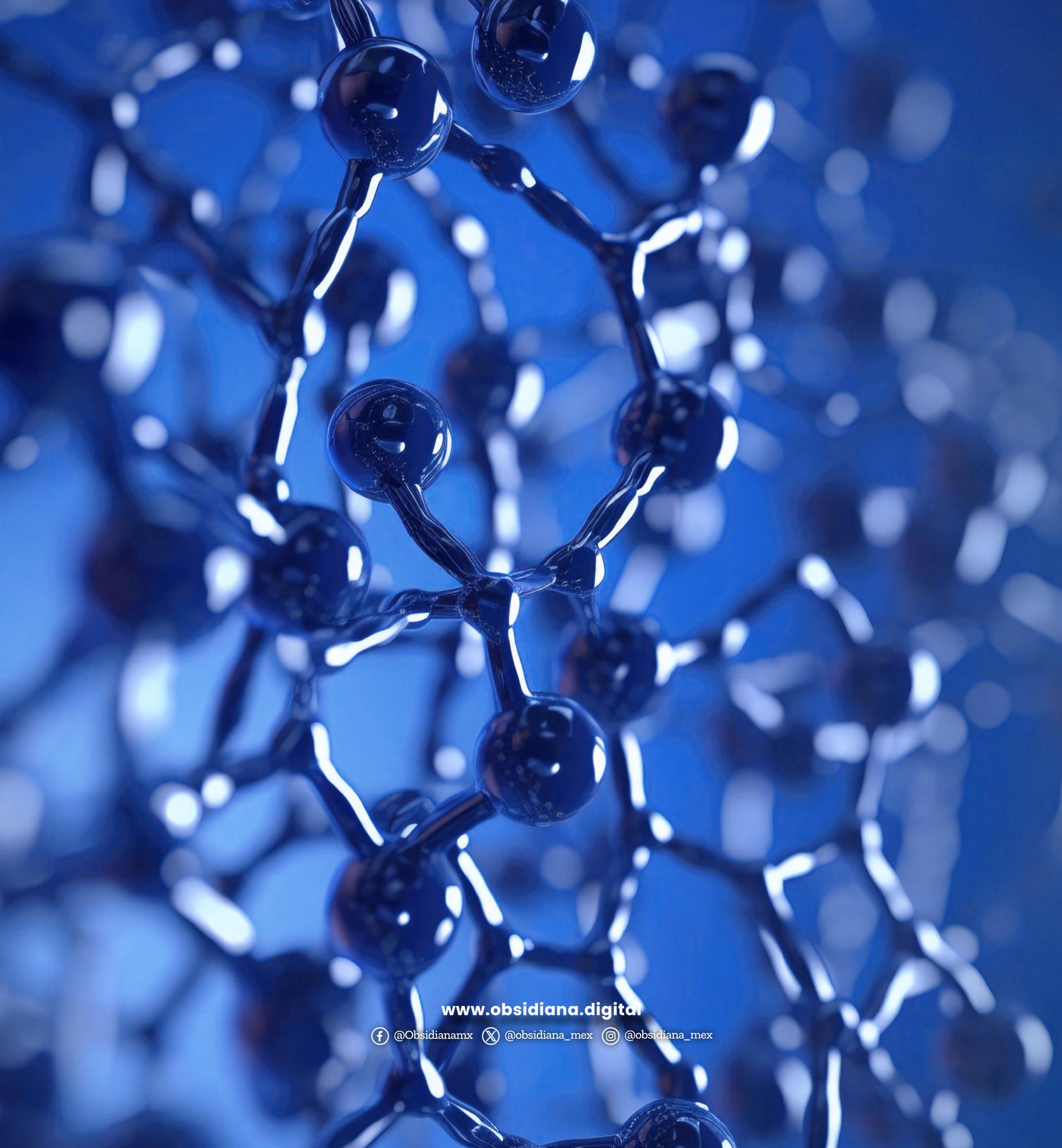


La doctora Anna Morales-Melgares es científica de materiales, especializada en estructuras nanométricas. Pero estudiar ciencia no es su única pasión, ¡también le encanta comunicarla!

En SizeMatters, su canal de YouTube, habla de qué es la nanotecnología, qué cosas se podrán hacer con ella en el futuro y mucho más. Además, aprovecha su plataforma para mostrar cómo es el mundo de la investigación, y lo hace magistralmente, combinando los datos científicos con elementos de la cultura pop y referencias actuales.

¡Visita su canal,
vale mucho
la pena!





www.obsidiana.digital

 @Obsidianamx  @obsidiana_mex  @obsidiana_mex