



# spinor

Dos facetas, información y divulgación  
un solo objetivo, comunicar

La física de  
materiales y  
la **ciencia** de  
materiales en la  
BUAP

# Índice

<b>Editorial</b>	<b>1</b>
<b>Materiales complejos e inteligentes</b> María Eugenia Mendoza, Felipe Pacheco y Ulises Salazar	<b>2</b>
<b>Cristales fotónicos como generadores de energía</b> M. Toledo-Solano, M.A. Palomino-Ovando, B. Flores-Desirena, A. J. Carmona-Carmona y J. J. Gervacio-Arciniega	<b>6</b>
<b>Cuántos científicos se necesitan para cambiar un bombillo</b> Salvador Carmona Téllez, Abraham Meza Rocha y Rosendo Lozada Morales	<b>10</b>
<b>La importancia de la luz azul en la sociedad del siglo XXI</b> J. Martínez Juárez, K. Mofil Leyva, J. Alberto Luna López, J. A. David Hernández De la luz, J. Luis Sosa Sánchez, J. Carrillo López, G. Juárez Díaz	<b>14</b>
<b>Materiales fotónicos: Salvando el planeta a través de materiales inteligentes</b> José Alberto Alvarado, Rene Pérez Cuapio, Mauricio Pacio Castillo y Héctor Juárez Santiesteban	<b>18</b>
<b>Materiales Híbridos</b> Rodolfo Palomino Merino, Efraín Rubio Rosas, José Eduardo Espinosa Rosales, Ricardo Agustín Serrano, Roberto Álvarez Zavala	<b>22</b>
<b>En el Instituto de Física de la BUAP no estamos poniendo las pilas</b> Enrique Quiroga González	<b>26</b>
<b>Aplicación de materiales en la mitigación de la contaminación ambiental</b> Heriberto Hernández Cocoltzi, Ma. de Lourdes Ruiz Peralta y Eva Águila Almanza	<b>28</b>
<b>Electrohilado, técnica versátil para la elaboración de nanofibras</b> Sergio A. Sabinas-Hernández, N. Rutilo Silva González y J. Miguel Gracia Jiménez	<b>32</b>
<b>Nanociencia y nanotecnología en nuestra vida cotidiana</b> Umapada Pal	<b>36</b>



# spinor

Dos facetas, información y divulgación  
un solo objetivo, comunicar

Revista de la Vicerrectoría de Investigación  
y Estudios de Posgrado

**Dra. Ma. Lilia Cedillo Ramírez**

Rectora

**Mtro. José Manuel Alonso Orozco**

Secretaría General

**D. C. Ygnacio Martínez Laguna**

Vicerrector de Investigación y Estudios de Posgrado

**Dra. Yadira Navarro Rangel**

Directora General de Estudios de Posgrado

**Dra. Ma. Verónica del Rosario Hernández Huesca**

Director General de Investigación

**Dr. Arturo Fernández Téllez**

Director General de Divulgación Científica

## Investigación y revisión:

Dr. José Eduardo Espinosa Rosales

Dr. Hugo Navarro Contreras

## Dirección de la revista:

Dr. Arturo Fernández Téllez

## Consejo Editorial:

Dra. María Eugenia Mendoza Álvarez, Dr. Martín Rodolfo Palomino Merino, Dr. Gilberto Tavares Velasco, Dra. Olga Félix Beltrán

## Diseño:

Israel Hernández / El Errante Editor

SPINOR, año 12, núm. 44, septiembre-octubre de 2022, es una publicación bimestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 sur 104, Col. Centro, C.P. 72000, Puebla Pue., y distribuida a través de la Dirección de Divulgación Científica de la VIEP, con domicilio en Torre de Gestión Académica y Servicios Administrativos, 6° Nivel, Avenida Central, Ciudad Universitaria, C. P. 72570, Puebla Pue., Tel. (52) (222) 2295500 ext. 5729, www.viep.buap.mx, revistaspinor@gmail.com, Editor responsable: Dr. Arturo Fernández Téllez, arturo.fernandez@correo.buap.mx. Reserva de Derechos al uso exclusivo 04-2017-062916010700-102. ISSN: (en trámite), ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Con Número de Certificado de Licitud de Título y Contenido: (16523), otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa en EL ERRANTE EDITOR S.A. DE C.V., Privada Emiliano Zapata No. 5947, Col. San Baltasar Campeche, Puebla, Pue. C.P. 72590, Tel. (222) 4047360, este número se terminó de imprimir en julio de 2019 con un tiraje de 3000 ejemplares. Ejemplar gratuito

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

# Editorial

## La física de materiales y la ciencia de materiales en la BUAP

La investigación aplicada ha sido uno de los objetivos establecidos desde hace décadas en nuestra institución. Por definición, los materiales son sustancias naturales o artificiales que se diseñan, preparan y estudian para ser utilizadas en una aplicación específica, debido a que poseen propiedades físicas y químicas requeridas para un uso preciso. Así, se han desarrollado materiales para dispositivos electrónicos (detectores, actuadores, etc.), para generación y almacenamiento de energía (celdas solares, baterías, etc.), para construcción (cementos, pegamentos, etc.), para tratamiento de desechos (catalizadores, contenedores, etc.), para medicina (transporte de medicamentos, agentes de contraste, etc.), por citar algunos ejemplos que ilustran la amplitud e importancia de esta área de investigación.

En este número de *Spinor* presentamos las contribuciones de varios grupos de la BUAP que realizan investigación experimental en física de materiales y ciencia de materiales de unidades académicas como el Instituto de Física, la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, el Instituto de Ciencias y la Facultad de Ingeniería Química. También existen grupos que desarrollan investigación teórica o modelado computacional de materiales, cuyas aportaciones serán abordadas en otro número de la revista.

Los doctores María Eugenia Mendoza, Felipe Pacheco y Ulises Salazar presentan los materiales complejos e inteligentes, en particular, los ferroicos, los magnetocristales y los superparamagnetos. En su artículo, los doctores Sergio Sabinas, Rutilo Silva y Miguel Gracia muestran el desarrollo de una técnica novedosa para la obtención de nanofibras. Asimismo, el doctor Uma-pada Pal, en su contribución, nos introduce en el mundo de la nanociencia y la nanotecnología en la vida cotidiana. Además, los doctores Heriberto Hernández, Ma. de Lourdes Ruiz y Eva Águila explican la importancia del uso de materiales reciclados para la mitigación de la contaminación ambiental.

Por su parte, los doctores J. Martínez-Juárez, K. Mofill-Leyva, J. Alberto Luna-López, J. A. David Hernández-De la luz, J. Luis Sosa-Sánchez, J. Carrillo-López y G. Juárez-Díaz presentan el artículo "Semiconductores nanoestructurados y orgánicos". Los doctores José Alberto Alvarado, René Pérez Cuapio, Mauricio Pacio Castillo, Avelino Cortés Santiago y Héctor Juárez Santiesteban presentan el artículo "Materiales fotónicos y su aplicación: salvando el planeta a través de materiales inteligentes".

M. Toledo-Solano, M. A. Palomino-Ovando, B. Flores-Desirena, A. J. Carmona-Carmona y J. J. Gervacio-Arciniega presentan el artículo "Cristales fotónicos como generadores de energía". Los doctores Salvador Carmona Téllez, Abraham Meza Rocha y Rosendo Lozada Morales presentan "¿Cuántos físicos se necesitan para cambiar un bombillo?", y, finalmente, los doctores Rodolfo Palomino Merino, Efraín Rubio Rosas, José Eduardo Espinosa Rosales, Ricardo Agustín Serrano, Roberto Álvarez Zavala integran el artículo "Materiales híbridos".

Dra. María Eugenia Mendoza Álvarez  
Instituto de Física "Luis Rivera Terrazas", BUAP  
Dr. Martín Rodolfo Palomino Merino  
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, BUAP  
Editores

# Los materiales complejos e inteligentes

**María Eugenia Mendoza,  
Felipe Pacheco y Ulises Salazar**

Instituto de Física, Benemérita Universidad  
Autónoma de Puebla, Apartado Postal J-48,  
Puebla 72570, México

**E**n general, cuando se habla de materiales complejos e inteligentes se refiere a sistemas auto organizados, auto ensamblados y con estructura compleja, entre estos se encuentran los materiales ferroicos, sistemas granulares, geles, proteínas, fluidos magneto y electro-reológicos, compuestos supramoleculares, compósitos, fases inconmensurables, agregados coloidales y biomateriales. Para este número de la revista dedicado al trabajo experimental en materiales resultados llevado a cabo en el Cuerpo Académico BUAP-171, presentaremos algunos en los siguientes temas: ferroicos, magnetocristales y superparamagnetismo.

## **Los ferroicos**

Los materiales inteligentes son aquellos que imitan un aspecto rudimentario de la vida: la capacidad de percibir los cambios en el medio ambiente (temperatura, presión, composición química, etc.) para adaptarse y sobrevivir. Un subgrupo de materiales inteligentes son los ferroicos, que se caracterizan porque presentan dos o más estados de orientación (llamados dominios) en ausencia de un campo eléctrico, campo magnético o tensión mecánica además de que estos estados pueden ser conmutados de un estado a otro al aplicar alguno de

los campos mencionados, una tensión mecánica o una combinación de ellos. Es decir, existen dominios espontáneos (magnéticos, eléctricos o elásticos) en el material que pueden ser cambiados cuando el material se somete a un agente externo adecuado. Los materiales ferroicos presentan alguna de las siguientes propiedades: ferromagnetismo, ferroelectricidad, ferroelasticidad o ferrotoroidismo. También es posible que un mismo material presente simultáneamente dos o más de estas propiedades, entonces se le denomina multiferroico.

Ejemplifiquemos esto con un material ferroico bien conocido: la magnetita,  $Fe_3O_4$ , es un material ferromagnético, existe en forma mineral y es posible también prepararlo en forma artificial. En la figura 1 se muestran los dominios magnéticos de monocristales de magnetita sintetizados y crecidos en el Laboratorio de Materiales Ferroicos del Instituto de Física-BUAP. Las fotos fueron tomadas con un microscopio óptico usando luz polarizada.

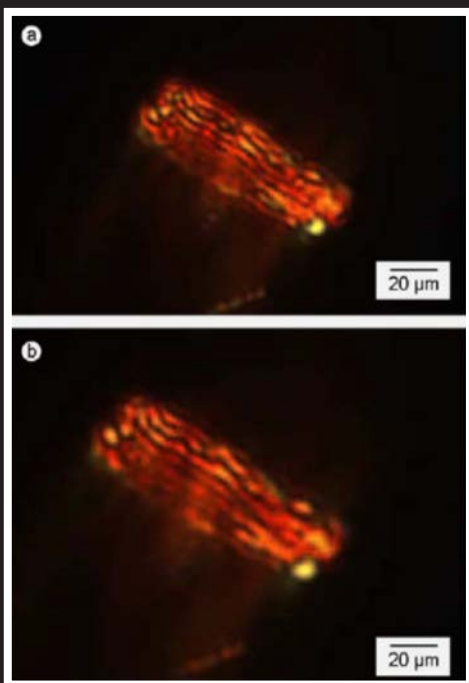


Figura 1. Dominios magnéticos de monocristales de magnetita sintética en luz polarizada, antes (a) y después (b) de aplicar un campo magnético <sup>1</sup>.

Posteriormente estos cristales micro-métricos fueron utilizados para estudiar la formación de estructuras complejas de un fluido magneto-reológico bajo la acción de campos magnéticos con diferente orientación e intensidad, como las mostradas en la figura 2, en (a) las partículas están dispersas en el medio (aceite de silicona) sin campo magnético aplicado; en las fotos siguientes se aplicó un campo magnético con las siguientes características: en (b) intensidad 80 G; en (c) intensidad 80G y a 4 Hz y una perturbación de 12G; en (d) se aplicó un campo magnético de 100G sin perturbación <sup>2</sup>.

### Magnetocristales: arreglos de esferas magnéticas con respuesta mecánica controlable

Un arreglo cristalino se caracteriza por el orden y periodicidad de los átomos o moléculas que lo componen. Dependiendo de dicha periodicidad, emergen distintas propiedades físicas; por ejemplo, los metales más dúctiles (oro, plata, cobre) son de estructura fcc, mientras que el hierro tiene estructura bcc. Dichas estructuras típicamente se estudian a nivel atómico. No obstante, es posible generar cristales macroscópicos (de tamaño milimétrico) de esferas duras con interacción atractiva. Por ejemplo, esferas magnéticas pueden unirse una con otra con sus dipolos apuntando en la misma dirección para formar una cadena (véase Fig. 3a). Cuando una cadena se dobla y se une un tramo al lado de otro de modo que sus dipolos magnéticos apunten en direcciones opuestas se forma una monocapa cristalina con estructura cuadrada, pero el arreglo cambia si los dipolos apuntan en la misma dirección, en cuyo caso se forma una monocapa hexagonal (véase fig. 3b). Ahora, si apilamos varias de estas monocapas podemos generar distintos arreglos cristalinos de esferas magnéticas, que dependiendo de la orientación de los dipolos (paralelos o antiparalelos entre cadenas adyacentes), darán como resultado estructuras con distinta

» Los materiales inteligentes son aquellos que imitan un aspecto rudimentario de la vida: la capacidad de percibir los cambios en el medio ambiente (temperatura, presión, composición química, etc.)

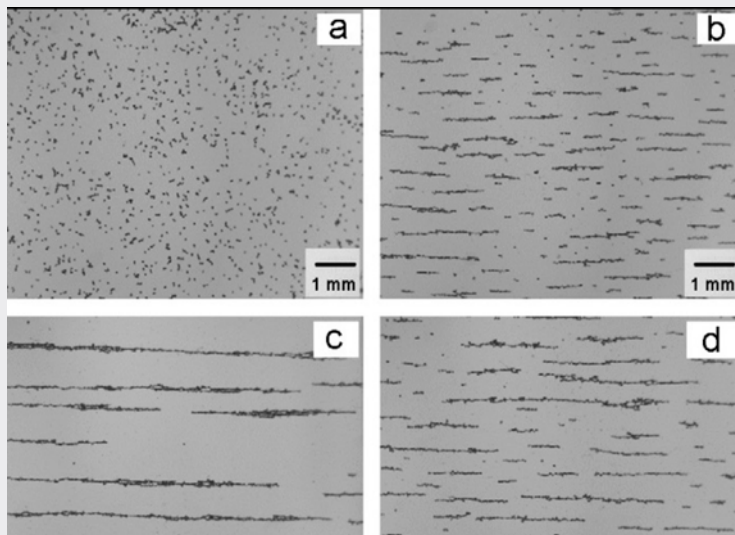


Figura 2. Estructuras complejas en un fluido magneto reológico formado por microcristales de magnetita sintética dispersos en aceite de silicona, bajo diferentes condiciones (ver texto) <sup>2</sup>.

respuesta mecánicas ante la deformación. A estos distintos arreglos los denominamos magnetocristales [3,4] (véase Figs. 3c-e).

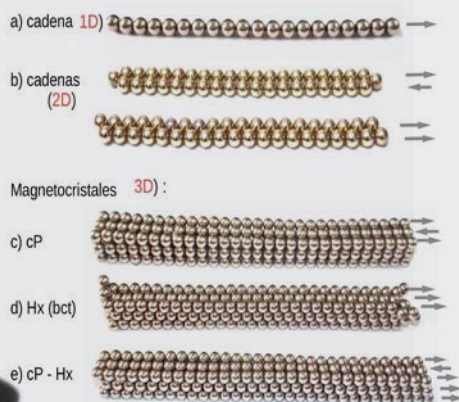


Fig.3. Distintas estructuras formadas por esferas magnéticas dependiendo de la dirección de los dipolos magnéticos (indicados por las flechas). Los arreglos 3D se conocen como magnetocristales <sup>3</sup>.

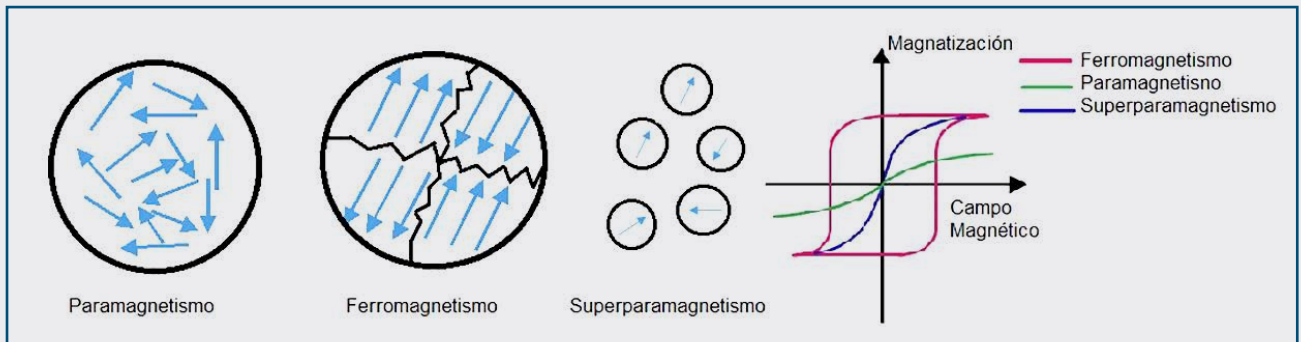
Una característica muy interesante de los magnetocristales es que podemos combinar arreglos para mejorar su respuesta mecánica; por ejemplo, el arreglo cP mostrado en la Fig. 3c se caracteriza

por ser elástico; sin embargo, el máximo esfuerzo de corte que resiste es relativamente bajo. En contraste, el arreglo bct que se muestra en la Fig. 3d resulta ser extremadamente rígido, pero soporta una fuerza cortante considerablemente mayor antes de fracturarse. Ahora, cuando combinamos monocapas hexagonales antiparalelas, producimos un cristal híbrido, con estructura cP en un plano y estructura bct en el plano perpendicular (véase Fig. 3e). Este material “inteligente” tiene la característica de ser muy dúctil en un plano y muy rígido en el plano perpendicular; pero lo destacable es que su dureza y ductilidad combinadas dan como resultado un magnetocristal deformable que resiste mayor fuerza de deformación que las estructuras cristalinas puras, aunada a una mayor elasticidad.

Lo anterior muestra que podemos “programar” estas estructuras magnéticas y usar su arquitectura para obtener distintas características, incluso podemos formar magnetotubos y otras estructuras más complejas. Aunque la naturaleza de interacción atractiva es magnética, esto nos permite comprender con sistemas macroscópicos cómo propiedades mecánicas de los cristales dependen de su estructura y cómo podemos, hasta cierto punto, manipularla.

### Superparamagnetismo

En nuestra cotidianidad, todos hemos tenido alguna experiencia con materiales magnéticos. Los encontramos en refrigeradores, bocinas, computadoras y hasta en piedras (magnetita) que se venden como “milagrosas”. Todos estos son ejemplos de imanes en los cuales los átomos o moléculas constituyentes, y gracias a su arreglo cristalino, generan lo que se conoce como momentos magnéticos los cuales provocan el magnetismo. El *paramagnetismo* se usa para designar a materiales que tienen momentos magnéticos libres que tienden a alinearse con un campo magnético externo aplicado. Es por ello que hay materiales,



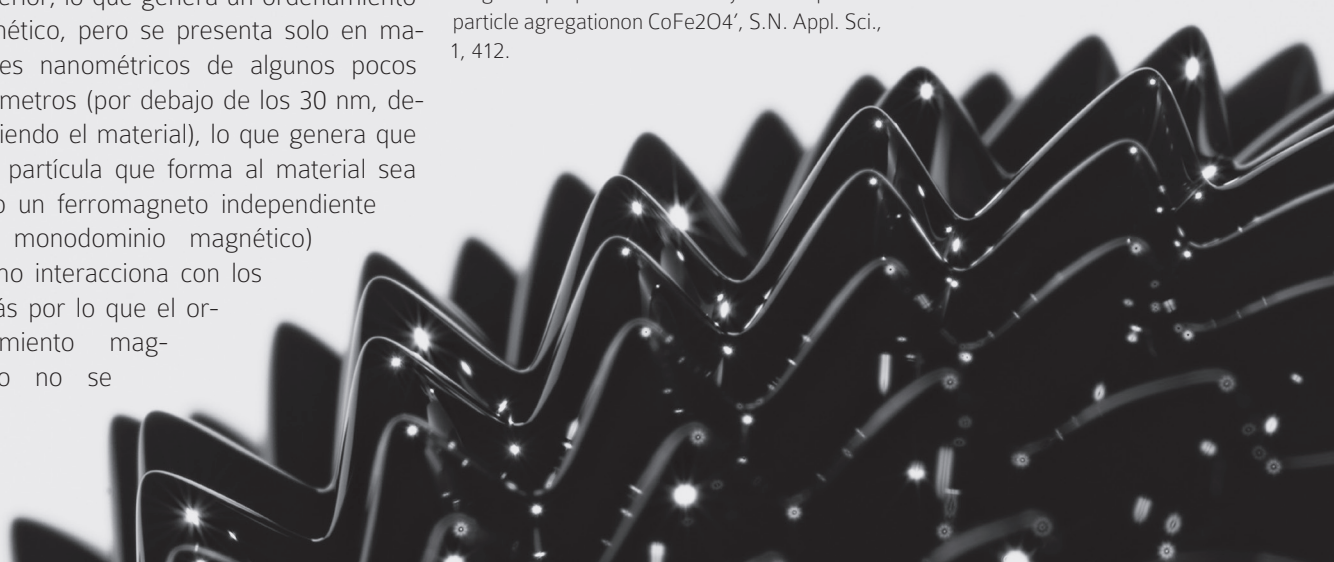
por ejemplo tornillos, que no se atraen entre sí, pero si les acerca uno un imán, estos se comportan como si fueran también imanes ya que están hechos de materiales que son paramagnéticos. Dentro de la familia del magnetismo existen los *ferromagnetos*, que son los materiales magnéticos más intensos que se conocen. Estos se caracterizan por ser magnetos permanentes cuyo momento magnético total puede ser modificado o revertido por un campo magnético externo siguiendo una curva de histéresis (ver figura 4), por lo que se usan en memorias de computadoras. Además, de que estos materiales, al pasar por una temperatura crítica, conocida como *temperatura de Curie*, pasan de ferromagnetos a paramagnetos y viceversa. Durante esta transición forman algo que se conoce como dominios magnéticos. El *superparamagnetismo* es un comportamiento magnético en el cual se presentan características de materiales ferromagnéticos y paramagnéticos combinados; es decir, se tienen interacciones ferromagnéticas bastante intensas en el interior, lo que genera un ordenamiento magnético, pero se presenta solo en materiales nanométricos de algunos pocos nanómetros (por debajo de los 30 nm, dependiendo el material), lo que genera que cada partícula que forma al material sea como un ferromagneto independiente (con monodominio magnético) que no interacciona con los demás por lo que el ordenamiento magnético no se

extiende a todo el sistema y por ende, funciona como un paramagneto pero muy especial, fuerte y complejo, por lo que se denomina como superparamagneto <sup>5</sup>. Debido a esta propiedad, resulta atractiva para aplicaciones principalmente en el campo de la medicina en liberación controlada de fármacos, imagenología de resonancia magnética nuclear, hipertermia magnética, biosensado, o en ingeniería ambiental para aplicaciones de limpieza de aguas.

Figura 4. Izquierda, esquematización de momentos magnéticos en materiales paramagnéticos, ferromagnéticos (con dominios magnéticos) y superparamagnéticos (con monodominios). Derecha, curvas de magnetización en función del campo magnético externo de los diferentes materiales magnéticos.

### Referencias

1. Mendoza, M.E., et al. (2005) 'Magnetite microcrystals for magneto-rheological fluids' J.Phys. Chem. Solids 66, 927.
2. Donado F., Carrillo J.L., Mendoza M.E. (2008) 'Dynamical structure and viscosity of dilute magnetorheological suspensions under perturbation' J. Magn. Magn. Mat. 320 e354–e357.
3. Hidalgo-Caballero, S. et al. (2019). 'Mechanical properties of macroscopic magnetocrystals', J. Magn. Magn. Mat., 479, p149-155.
4. Vandewalle, N. y Wafflard, A. (2021) 'Ground state of magnetocrystals', Phys. Rev. E 103, 032117.
5. Arteaga Cardona F., et al. (2019). 'Variations in magnetic properties caused by size dispersion and particle aggregation on CoFe2O4', S.N. Appl. Sci., 1, 412.



# Cristales fotónicos como generadores de energía

**M. Toledo-Solano, M.A. Palomino-Ovando,  
B. Flores-Desirena, A. J. Carmona-Carmona  
y J. J. Gervacio-Arciniega**

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita  
Universidad Autónoma de Puebla

Inicialmente se definió a los cristales fotónicos (CFs) como estructuras periódicas artificiales, siendo la dimensión de su unidad básica  $a$  (también conocida como constante de red) del orden de la longitud de onda de la luz "visible", es decir,  $0.4\mu\text{m} \leq a \leq 0.7\mu\text{m}$ , donde  $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{metros}$ , a diferencia de un cristal natural como la sal o el diamante, los cuales tienen su unidad básica del orden de Angstroms ( $A$ ), en este caso  $1A = 10^{-10}\text{metros}$ . Posteriormente se descubrió que la naturaleza misma en sus eones de evolución había creado estas estructuras periódicas. Como ejemplo de dichas estructuras están las alas de algunas mariposas, las plumas de algunas aves, la piel de algunos reptiles, la cutícula de algunos insectos, hojas de algunas plantas, algas marinas, algunos tipos de cochas de moluscos, etc.<sup>1</sup>. La iridiscencia es la propiedad característica de estos sistemas, la cual consiste en el cambio del color de la luz reflejada al observar este desde diferentes ángulos, se observan también cambios de color en una pompa de jabón, en una mancha de aceite o

en las auroras boreales, sin embargo, esto no se debe a la presencia de CFs. Los cambios en la tonalidad de la luz en los CFs se deben a interferencia de la luz reflejada desde las distintas capas semitransparentes de la estructura. A este tipo de coloración se le conoce también como estructural.

Un cristal en general se construye a partir de dos elementos, una red y una base, la red corresponde a un concepto matemático y se forma por un arreglo periódico infinito de puntos distribuidos periódicamente en el espacio ya sea unidimensional, bi-dimensional o tri-dimensional, y la base puede corresponder a una distribución de átomos para un cristal natural, o una distribución de materiales dieléctricos. Para el CF, el cual se coloca en cada punto de la red, el sistema así formado red + base se conoce como cristal. Un ejemplo de CF unidimensional (1D) se muestra en la figura 1, con la repetición periódica de la base compuesta por dos placas planas de diferente material, un CF 2D se construye colocando en cada punto de la red un



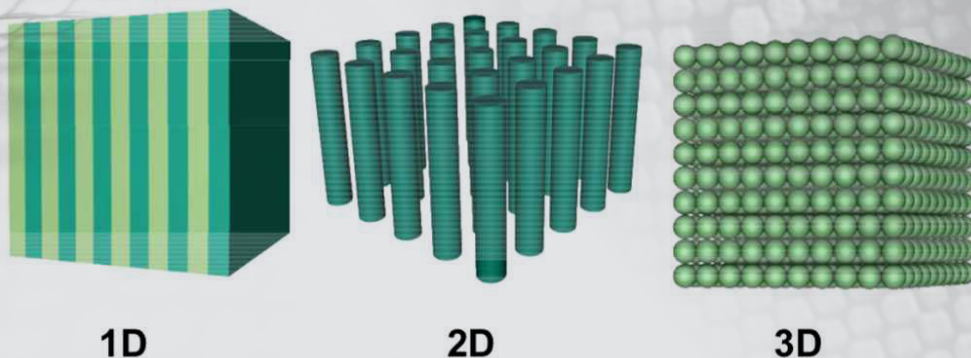


Figura 1. Ejemplos de cristal fotónico unidimensional, bi-dimensional y tri-dimensional.

cilindro en un medio de diferente índice de refracción, el ejemplo 3D de la figura 1 corresponde a un CF tridimensional, que en este caso se obtiene al colocar las esferas en cada punto de la red.

Los CFs se hacen comúnmente de materiales dieléctricos periódicos, a veces de nanoestructuras que alteran la propagación de fotones. Los modos fotónicos que pasan a través de los CFs crean bandas conocidas como fotónicas, mientras aquellos que no pueden atravesarlos crean bandas prohibidas que se conocen como *bandgaps* fotónicos. Estas bandas prohibidas dan lugar a diferentes fenómenos ópticos, por ejemplo, espejos omnidireccionales de alta reflexión, oscilaciones de Bloch, sensado, refracción negativa y oscilaciones mecánicas.

Los CFs se pueden hacer de diferentes maneras. Tanto las películas delgadas como el material en bulto se pueden fabricar a través de rutas físicas o químicas. Además, algunas variantes se prestan para el autoensamblaje, mientras que otras se preparan utilizando técnicas litográficas. Los CFs autoensamblados son generalmente estructuras tridimensionales, mientras que los CFs modelados litográficamente son bi-dimensionales. El tipo de CF fabricado y su tecnología de fabricación están dictados por la aplicación particular a la que está destinado el material. Muchos usos potenciales de los CFs requieren una película delgada del material sobre un sustrato transparente. En este caso, se puede usar el autoensamblaje de esferas de sílice o poliestireno para formar capas uniformes de esferas apiladas

y compactas que exhiben características de CFs tridimensionales (CF-3D). Estos tipos de CFs son comúnmente conocidos como cristales coloidales u ópalos artificiales.

Los primeros trabajos sobre CF se publicaron en 1987 por Eli Yablonovitch<sup>2</sup> y Sajeev John<sup>3</sup>. El principal interés de Yablonovitch era inhibir la emisión espontánea al introducir el material emisor en el CF. Por otro lado, con el fin de localizar la luz al introducir un leve desorden en el sistema periódico, John llegó a la misma idea de los CFs. La respuesta del CF al paso de luz se ve afectada por la presencia de defectos tal como ocurre en los cristales reales ya que estos crean estados permitidos dentro de la banda prohibida, pueden amplificar la respuesta del material. La generación de un defecto puede ser manipulado desde la creación del material.

Hoy en día, los avances en las microcavidades ópticas (MO) se manifiestan tanto en la investigación fundamental como en la aplicada, gracias a sus factores de alta calidad y sus pequeños volúmenes de modo que permiten una mejora significativa de las interacciones luz-materia. Entre los avances en MO destacan la fotónica no lineal, la electrodinámica de cavidades cuánticas, la optomecánica de cavidades y los microláseres. Sin embargo, las MO se pueden configurar para una amplia variedad de aplicaciones de detección química o biomolecular. Además, las MO mejoraron la absorción de luz en las células solares orgánicas y mejoraron ampliamente el rendimiento del dispositivo. Por otro lado, los

Los cambios en la tonalidad de la luz en los CFs se deben a la interferencia de la luz reflejada desde las distintas capas semitransparentes de la estructura. A este tipo de coloración se le conoce también como estructural.

efectos de resonancia de la luz confinada en las MO se pueden usar para aumentar la fuerza de presión de radiación para los micromotores impulsados por ondas electromagnéticas.

El concepto de presión de radiación se ha utilizado en el pasado para manipular microobjetos y organismos biológicos. Las trampas ópticas se basan en la fuerza de presión de radiación que resulta de la transferencia de impulso de fotones; incluyen las primeras configuraciones de levitación óptica y las pinzas ópticas. En los últimos años, se ha desarrollado un resonador micromecánico de acción directa utilizando únicamente la fuerza proporcionada por la presión de radiación. Además, la presión de radiación en la fotónica de microcavidades ha mostrado evidencia experimental de que esta estructura es capaz de auto-oscilaciones y oscilaciones forzadas. En optomecánica, las MO suelen utilizar la presión de la radiación como un mecanismo de acoplamiento luz-materia y la fuerza óptica de gradiente como fuerza motriz, que depende en gran medida de la magnitud del desplazamiento del resonador con la intensidad del láser.

En esta dirección, Lugo y colaboradores<sup>4</sup> han simulado y fabricado una estructura fotónica que consiste en una similar a una microcavidad formada por dos cristales fotónicos unidimensionales hechos de silicio poroso autosoportado. La figura 2 muestra un modo localizado en la microcavidad. El mecanismo empleado para inducir oscilaciones mecánicas en esta estructura, se debe a la generación de fuerzas electromagnéticas por el modo fotónico

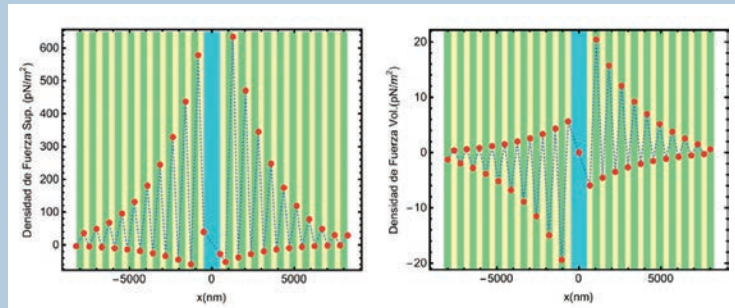


Figura 2. Amplitud de un modo localizado en una microcavidad (aire) formada por dos cristales fotónicos unidimensionales. Las capas tienen índices de refracción 2 y 1.1 con espesores de 440 y 332 nm, respectivamente. La longitud de onda incidente es 797 nm con un campo eléctrico de  $E_0 = 1V/m$ .

localizado que se excita con una longitud de onda de luz láser modulada. Las fuerzas electromagnéticas y auto-oscilaciones en estas estructuras, bajo la radiación de luz láser modulada, es útil para potenciales aplicaciones en la generación de energías mecánica y eléctrica que podrían emplear energía solar como fuente.

Para evidenciar la fuerza que ejerce esta radiación resonante en la estructura fotónica, Lugo y colaboradores<sup>4</sup> midieron las auto-oscilaciones y oscilaciones forzadas de la misma. La fuerza máxima y los niveles de amplitud de oscilación que han obtenido son del orden de 100 nN y 150 micras, respectivamente. Estos osciladores mecánicos fueron denominados *fotodinos*.

La figura 3 muestra parte de los elementos del dispositivo óptico, necesario para la determinación experimental de las fuerzas inducidas. El elemento esencial en el arreglo es el vibrómetro láser, capaz de medir amplitudes mecánicas de menos de un nanómetro y frecuencias de hasta 20 kHz.

» Hoy en día, los avances en las microcavidades ópticas (MO) se manifiestan tanto en la investigación fundamental como en la aplicada, gracias a sus factores de alta calidad y sus pequeños volúmenes

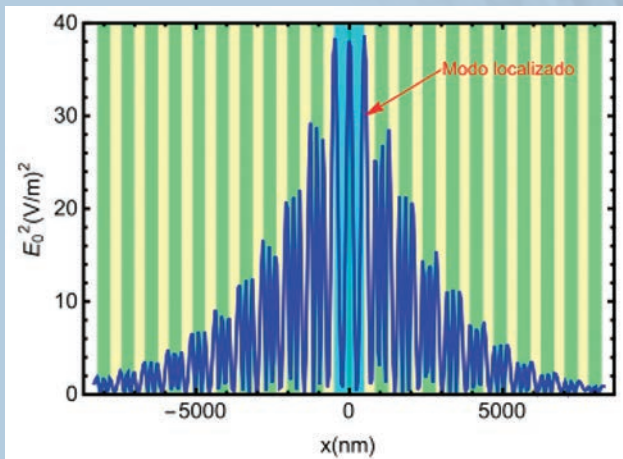


Figura 3. Montaje experimental para la medición de las oscilaciones en el fotodino.

Dentro de las capas dieléctricas, existen dos densidades de fuerzas: La densidad de fuerza volumétrica de Lorentz y la densidad de fuerza superficial. Esta última es debido a que en las interfaces entre las capas dieléctricas, se crea una carga superficial de polarización lo que da lugar a una densidad de fuerza superficial.

La figura 4 muestra ambas densidades de fuerzas dentro del fotodino. La amplitud del campo eléctrico del modo localizado aumenta de manera exponencial conforme se aproxima al defecto de aire y decrece exponencialmente cuando se aleja de él. Las densidades de fuerzas superficiales siguen el comportamiento del modo. Por otro lado, la parte más relevante de la existencia de la onda se da dentro del defecto. El modo localizado empuja a las capas del cristal hacia el exterior de su cara correspondiente al mismo. Es importante resaltar que la densidad de fuerza electromagnética en cuestión solo actúa en la dirección de crecimiento del CF, es decir, en la dirección del cambio de su índice de refracción.

Con los últimos avances de investigación en microcavidades y fenómenos relacionados, debido a que los sistemas de nuevos materiales han ido surgiendo y han mostrado características ópticas únicas como cristales metalo-dieléctricos, materiales híbridos, materiales semiconductores de alto índice, membrana de grafeno, etc.,

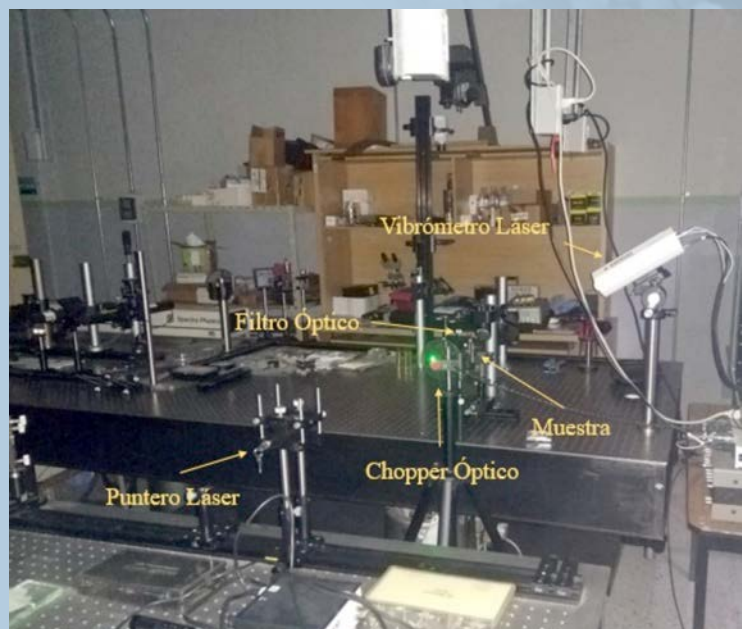


Figura 4. Densidades de fuerzas superficial y volumétrica, respectivamente.

micro-motores conformados por rotores hechos de CF, cuyo medio de activación sea el impulso proporcionado tanto por las componentes longitudinales como perpendiculares de la fuerza electromagnética dentro del cristal, podrán ser fabricados en un futuro cercano.

### Bibliografía

- <sup>1</sup>P. Vukusic, Roy Sambles, Rev. Nature 424, 852 (2003).
- <sup>2</sup>E. Yablonovich, Phys. Rev. Lett. 58, 2059 (1987).
- <sup>3</sup>S. John, Phys. Rev. Lett. 58, 2486 (1987).
- <sup>4</sup>J. E. Lugo, et al., Sci. Rep. 4, 3705 (2014).

¿Cuántos físicos se necesitan para

# cambiar un bombillo?

Salvador Carmona Téllez,  
Abraham Meza Rocha  
y Rosendo Lozada Morales

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas  
BUAP Conacyt-FCFM-BUAP

Hágase la luz, y repentinamente surgieron antorchas, velas y candiles, algunos de estos artefactos se usaron desde tiempos inmemorables y otros se usan hasta nuestros días. De un tiempo a la fecha han ocurrido algunos cambios con respecto al tipo de iluminación, a partir de la aparición de la bombilla incandescente, la iluminación se hizo cada vez más dependiente de los desarrollos tecnológicos, por ejemplo, antes la bombilla se utilizaba de manera masiva, sin embargo, en tiempos recientes esto ha venido cambiando y ahora ha entrado en desuso y se ha masificado la iluminación por leds, debido a que esta tecnología es más barata, eficiente y duradera. No obstante, para poder llegar a este punto fue necesario realizar una exhaustiva investigación. Entonces, ¿cuántos científicos se necesitan? la respuesta no es sencilla, de hecho, para terminar con la era del bombillo se necesitó del arduo trabajo de varios grupos de científicos alrededor del mundo.

Pero, si ya se ha realizado tanta investigación sobre la forma en que combatimos la oscuridad ¿ya todo está dicho con respecto a la iluminación de espacios? ¿hemos llegado a la cumbre en lo que respecta a las lámparas? La respuesta a estas preguntas obviamente es no, aunque lo parezca, quizá la gente que vivió antes del 1879 (cuando surgió la bombilla) llegó a opinar que el fuego era la única forma de combatir la oscuridad, hoy sabemos que no es así.

En lo referente al desarrollo de tecnología, y en particular, respecto a la interacción de la radiación con materia sólida, nada es definitivo, todo cambia y los dispositivos más modernos serán totalmente obsoletos en pocos años. Lo mismo sucede con la tecnología involucrada alrededor de la iluminación, su límite es solo la imaginación del ser humano. Sin embargo, si este es el límite ¿qué hemos imaginado últimamente? ¿Cómo serán las luminarias de las generaciones venideras?

El imaginario colectivo nunca se detiene, por ejemplo, imaginemos nuestros hogares carentes de focos y que en su lugar la iluminación provenga de objetos

armonizados con la decoración. Pues bien, una de las propuestas que actualmente se encuentran en pleno desarrollo es sustituir las luminarias como hoy las concebimos y cambiarlas por lámparas hechas de vidrio luminoso. Pues bien, esto podría ser una realidad en un mediano plazo ya que actualmente se están desarrollando vidrios de fosfato de zinc los cuales son capaces de emitir luz blanca tanto cálida como fría.

En lo concerniente a la iluminación de espacios interiores la luz blanca juega un papel angular, ya que esta trata de emular la luz natural del sol, que es el tipo de luz a la que el ser humano se encuentra mejor adaptado evolutivamente y que además rige nuestros ciclos de sueño y de vigilia. Una luz blanca fría es muy similar a la luz que nos proporciona el sol en las primeras horas de la mañana y por lo tanto este tipo de luz produce instintivamente en el ser humano un estado de alerta y elimina la somnolencia, por su parte, una luz blanca cálida es muy similar a la que nos proporciona el sol en el atardecer, lo que, en contraste produce en el ser humano un estado de somnolencia y de relajación. Tomando en cuenta estos factores, fabricar vidrios que sean capaces de emitir luz blanca tanto cálida como fría y que además pueda ser modulada podría ser el inicio de un cambio de paradigma en lo que concierne a la tecnología de la iluminación.

Para conseguir este efecto en los vidrios de fosfato de zinc es necesario incluir pequeñas cantidades de plata, la cual es la responsable primordialmente de la emisión de luz blanca fría, y de samario o europio (materiales que son parte de las llamadas "tierras raras"), quienes serían los responsables de modular entre emisiones frías o cálidas. En términos generales, se trata de una apuesta interesante, ya que como es sabido el vidrio puede ser moldeado de manera sencilla y puede ser utilizado en ventanas debido a su transparencia, generando la posibilidad de dos tipos de fuentes de luz de avanzada, las ventanas y las piezas decorativas.

» El uso de plástico para la fabricación de piezas emisoras de luz, no es la única opción que existe en el imaginario, para este tipo de materiales existe otra posibilidad aún más atrayente, la cual radica en la fabricación de pinturas a partir de materiales plásticos reciclados.

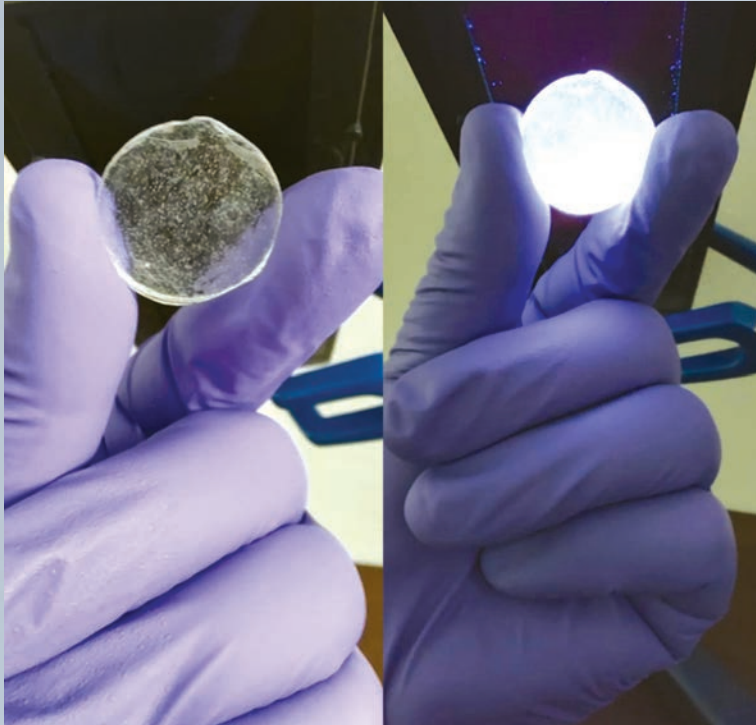


Imagen: vidrio emisor de luz hecho de fosfato de zinc bajo condiciones de iluminación ambiental izquierda, bajo iluminación UV derecha.

Hay algunos reportes tecnológicos en los cuales se plantea la posibilidad de fabricar plástico luminoso, incluso utilizando plástico reciclado, por lo que la utilización de estos materiales podría ser una realidad a mediano plazo.

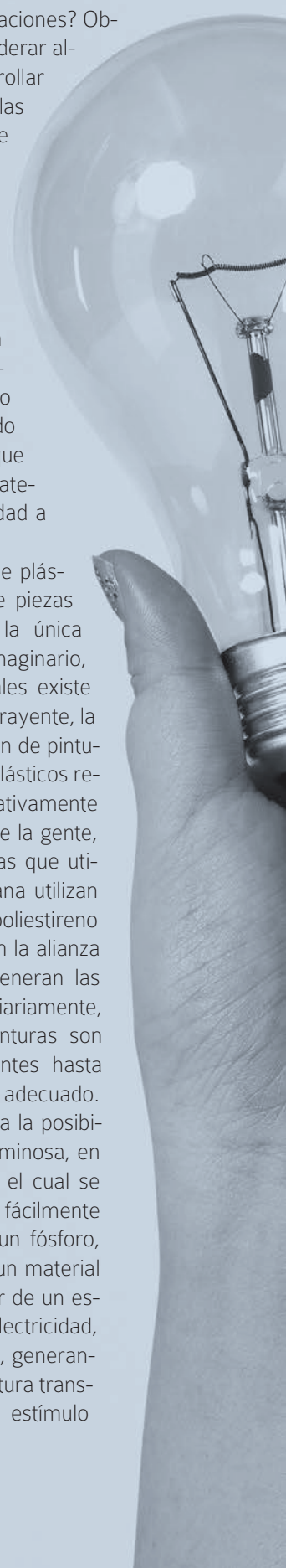
Por supuesto, al entender que es necesario el uso de materiales como plata, europio o samario en la fabricación de este tipo de dispositivos, de manera natural surge la pregunta: ¿Qué tan costosos resultarán los dispositivos basados en este tipo de vidrios? La respuesta a esta pregunta obviamente reside en el comportamiento del mercado al momento de su comercialización, sin embargo, es importante mencionar que México es el primer productor mundial de plata, lo que supondrá una oportunidad de negocio para los productores nacionales de este metal, mientras que en los casos del samario y europio, estos suelen presentar costes altos, no obstante, existe la posibilidad de generar este mismo efecto utilizando algunos otros materiales más económicos como el manganeso o el cromo, abriendo la brecha a la posibilidad de generar luz blanca libre de tierras raras.

Como vemos, el uso de vidrio es una excelente opción para el desarrollo de luminarias vanguardistas, pero ¿qué pasa con el plástico? ¿podría ser una opción viable su

uso para este tipo de aplicaciones? Obviamente se podrían considerar algunos plásticos para desarrollar fuentes de luz similares a las planteadas anteriormente hechas con vidrio luminoso, sobre todo aquellos que presentan gran transparencia como el PET, el acrílico o el poliestireno. De hecho, ya hay algunos reportes tecnológicos en los cuales se plantea la posibilidad de fabricar plástico luminoso, incluso utilizando plástico reciclado, por lo que la utilización de estos materiales podría ser una realidad a mediano plazo.

Sin embargo, el uso de plástico para la fabricación de piezas emisoras de luz, no es la única opción que existe en el imaginario, para este tipo de materiales existe otra posibilidad aún más atrayente, la cual radica en la fabricación de pinturas a partir de materiales plásticos reciclados. Es un hecho relativamente conocido por la mayoría de la gente, que algunas de las pinturas que utilizamos de manera cotidiana utilizan polímeros como acrílico o poliestireno para su fabricación, que en la alianza con algunos colorantes generan las pinturas que utilizamos diariamente, es decir, este tipo de pinturas son completamente transparentes hasta que se añade un colorante adecuado.

Ahí es en donde radica la posibilidad de fabricar pintura luminosa, en el paso de fabricación en el cual se añadiría el colorante, este fácilmente puede ser sustituido por un fósforo, que no es otra cosa, que un material capaz de emitir luz a partir de un estímulo adecuado como: electricidad, luz, energía mecánica, etc., generando de esta manera una pintura transparente pero que con un estímulo



adecuado genere luz tanto de colores unitarios, como mezclas luz de colores para producir luz blanca.

Como se mencionó antes, ya existen algunos estudios en los cuales es posible integrar estos fósforos dentro de plásticos reciclados, este hecho es muy relevante ya que se abre la oportunidad de generar pintura emisora de luz realizada a partir de plástico reciclado. En México se producen cerca de 7 millones de toneladas de plástico anualmente, por lo que la posibilidad de fabricar pintura usando plástico reciclado podría ayudar a reducir la presencia de este material en los vertederos, convirtiéndolo en un producto útil y cuya huella de carbono sea menor al plástico en su presentación común.

La clave para lograr una pintura luminosa de buena calidad radica en la fabricación de los fósforos que se integran, algunos de los factores implicados en la obtención de fósforos adecuados para este tipo de aplicación son:

- Tamaño, el cual debe rondar entre los 100 y los 300 nanómetros
  - Naturaleza química, la cual puede ser orgánica, inorgánica o híbrida
  - Su peso relativo, ya que si el fósforo resulta muy pesado podría sedimentar fácilmente obteniendo una pintura inestable
  - Los materiales de los que está hecho el fósforo, estos comúnmente pueden estar hechos de óxidos metálicos, fluoruros, silicatos, entre otros.

### ¿Se necesitan muchos físicos para cambiar una lámpara de leds?

Se ha requerido de los esfuerzos, los recursos económicos y el valioso tiempo de un sinnúmero de grupos de científicos enfocados en realizar cambios importantes en esta tecnología. Pero estos esfuerzos no terminan aquí, sino que continúan hasta nuestros días, y cada día esta tecnología se va renovando gracias a las ideas surgidas de estos grupos alrededor del mundo.

Aquí solamente se han presentado dos ideas, que en un futuro podrían ser toda una realidad gracias a las ideas que han aportado en los diferentes grupos de investigación en México, y en particular en el estado de Puebla.



Imagen: Piedras de jardín bañadas en pintura emisora de luz hecha con plástico reciclado, bajo condiciones de iluminación ambiental (arriba), bajo iluminación UV (abajo).

Una de las propuestas que actualmente se encuentran en pleno desarrollo es sustituir las luminarias como hoy las concebimos y cambiarlas por lámparas hechas de vidrio luminoso.

# La importancia de la luz azul en la sociedad del siglo XXI

J. Martínez Juárez, K. Mofil Leyva,  
J. Alberto Luna López, J. A. David Hernández  
De la luz, J. Luis Sosa Sánchez, J. Carrillo López,  
G. Juárez Díaz

## Introducción

Solo algunas personas nacidas en el siglo XXI habrán conocido la bombilla incandescente, invento atribuido a Thomas Alva Edison desde 1880 (Sproule, 2000), la cual estaba hecha de vidrio, latón y un filamento en su interior, y que fue utilizada desde su invención hasta el año 2012, cuando oficialmente en Europa se retiraron del mercado las lámparas de 40 y 25 watts. Las de mayor potencia se retiraron con anterioridad. A pesar de que su principal utilidad fue iluminar, el 95 % de la energía que consumían la gastaban en producir calor; además, eran muy propensas a dejar de funcionar después de algunos meses, por lo que era necesario reemplazar dos de cada tres bombillas en el transcurso de un año (véase la figura 1).

Como puede verse, por la vigencia de su uso, la bombilla incandescente era una







Fig. 1. Lámpara incandescente

de las “salientes inversos”, como les denominó Thomas Hughes (1993), a aquellos componentes de un sistema tecnológico que, por su insuficiente desarrollo, detienen el progreso de la sociedad o el adelanto de algún equipo en particular. Con la invención de los diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés *Light Emitting Diode*), por Oleg Vladimírovich Lósev, y el posterior desarrollo del diodo láser en 1963, hecho por Zhores Ivanovich Alferov (Alferov *et al.*, 1967), se pensó que el destino y la utilidad de las bombillas incandescentes estaban por concluir; sin embargo, el diodo emisor de luz aún estaba muy lejos de cumplir el destino que sus pioneros habían augurado: reemplazar cualquier otra forma de iluminación. No obstante, no fue sino hasta treinta años después, con la invención del LED azul, por Shuji Nakamura (Johnstone, 2007), que se logró el objetivo de generar luz blanca mediante LED (véanse las figuras 2 y 3). De este modo, los LED pasaron de tener sencillas aplicaciones como indicadores de encendido y apagado, con una luz roja opaca, a las luces rojas brillantes del freno de los automóviles, a los tres colores de los semáforos para el control de tráfico vehicular, a la iluminación de casas, oficinas, bodegas y alumbrado público, entre otras (véase la figura 4).

» A pesar de que su principal utilidad fue iluminar, el 95 % de la energía que consumían la gastaban en producir calor; además, eran muy propensas a dejar de funcionar después de algunos meses



Fig. 2. LED azul

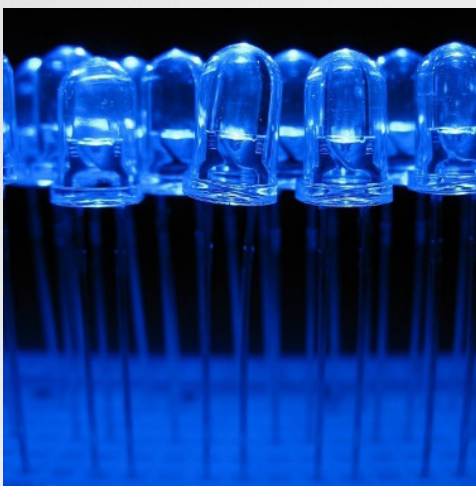


Fig. 3. LED red, green and blue montados en una superficie



Fig. 4. Luces en automóvil

### Desarrollo

Los tres colores básicos de la región visible del espectro electromagnético (es decir, donde vemos los humanos) son azul, verde y rojo, en ese orden, desde el punto de vista de frecuencia o energía. La importancia de obtener, a voluntad y controlada, radiación o luz azul radica en que la combinación de los tres colores produce una luz blanca. Por ello, durante mucho tiempo, aún hoy en día, grupos de investigadores de todo el mundo han intentado obtenerla con diferentes dispositivos, diferentes materiales y procesos. Precisamente, el Premio Nobel de Física, otorgado en el año 2014 a Shuji Nakamura, Hiroshi Amano e Isamu Akasaki, fue por haber inventado una nueva fuente de luz eficiente, barata, duradera y amigable con el medio ambiente, la cual ha revolucionado la iluminación de las últimas dos décadas al permitir generar una luz blanca, brillante y barata.

El Cuerpo Académico de Semiconductores Nanoestructurados y Orgánicos (CA-SNyO) de la BUAP, al igual que otros grupos de investigadores, ha desarrollado proyectos con el objetivo de conseguir un dispositivo que emita en el azul y, además, que sea lo más compatible posible con las tecnologías ya existentes y ecológico. Para ello, se han usado diferentes materiales y procesos, como el óxido de zinc, ftalocianinas de diversos materiales y otros, con procesos de rocío pirolítico, baño químico, sol-gel, depósito de vapor químico (en

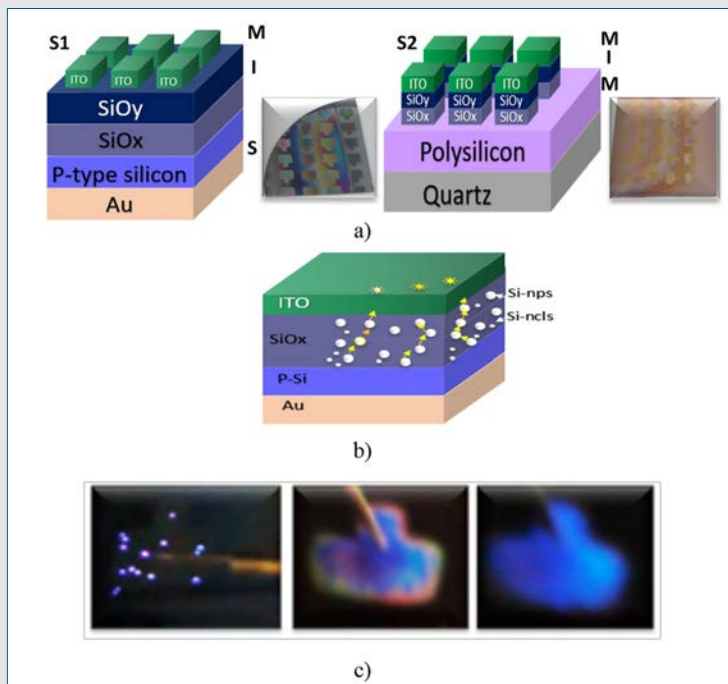


Fig. 5. a) y b) muestran el arreglo de la estructura del dispositivo emisor de luz en el azul. c) Evolución de las regiones de emisión debido a la electroluminiscencia del dispositivo en la medida en que se van activando los centros de emisión, iniciando por la periferia hasta cubrir el área total del dispositivo.

diversas opciones: HF, LP, PE), *sputtering*, *spin on glass*, epitaxia por fase líquida y síntesis de química verde.

Sin embargo, una de las aportaciones de gran relevancia del CA-SNyO fue haber alcanzado este propósito a partir de un dispositivo con emisión en la región espectral del azul, como puede verse en la imagen de la figura 5, con óxido de silicio rico en silicio, mejor conocido como



SRO, utilizando la técnica de depósito químico en fase vapor a baja presión (LPCVD) y activado por filamento caliente (HFCVD). La importancia de esta contribución se debe a que es un material proveniente del silicio y, por lo tanto, podrá ser compatible fácilmente con su tecnología, la cual es la base de la electrónica actual. Además, las técnicas de obtención de este material son económicas y de fácil acceso.

El fenómeno de emisión de la luz en color azul se origina básicamente por la corriente eléctrica inyectada al dispositivo y las transiciones electrónicas radiativas que hacen los electrones en estados electrónicos generados por los aglomerados de silicio (Si-nps y Si-ncls) y los defectos estructurales del arreglo atómico en el material SRO (Martínez *et al.*, 2021).



Fotografía 1. Miembros del BUAP-CA-275

## Autores

El Cuerpo Académico de “Semiconductores Nanoestructurados y Orgánicos” (CA-SN-yO), identificado oficialmente como BUAP-CA-275, está integrado por los siguientes profesores:

- Dr. José Álvaro David Hernández de la Luz: doctorado por el IFUAP-BUAP. Profesor-investigador del CIDS-ICUAP. Miembro del SNI, nivel 1. <https://www.researchgate.net/profile/A-David-De-La-Luz>
- Dr. José Luis Sosa Sánchez: doctorado en Química Inorgánica de la Universidad de Essex en Inglaterra. Profesor-investigador del CIDS-ICUAP. Miembro del SNI, nivel 1.
- Dr. Gabriel Juárez Díaz: doctorado por el Cinvestav-IPN. Profesor-investigador de la FCC-BUAP. Miembro del SNI, nivel 1.
- Dr. Karim Monfil Leyva: doctorado por el INAOE. Profesor-investigador del CIDS-ICUAP. Miembro del SNI, nivel 1.
- Dr. Jesús Carillo López: doctorado por el

Cinvestav-IPN. Profesor-investigador del CIDS-ICUAP. Miembro del SNI, nivel 1.

- Dr. Javier Martínez Juárez: doctorado por el Cinvestav-IPN. Profesor-investigador del CIDS-ICUAP. Miembro del SNI, nivel 2. <https://www.researchgate.net/profile/Javier-Martinez-38>

## Referencias

- Alferov, Zh. I. *et al.* (1967). Injection luminescence of epitaxial heterojunctions in the GaP-GaAs system. *Soviet Physics Solid State*, 9, 208-210.
- Hughes, T. (1993). *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*. Londres: The Johns Hopkins University Press.
- Johnstone, B. (2007). *Brilliant Shuji Nakamura and the Revolution in Lighting Technology*. Nueva York: Prometheus Books.
- Martínez, H. P. *et al.* (2021). Blue electroluminescence in SRO-HFCVD films. *Nanomaterials*, 11(4), 943.
- Sproule, A. (2000). *Thomas A. Edison*. España: Ediciones SM.

Los tres colores básicos de la región visible del espectro electromagnético (es decir, donde vemos los humanos) son azul, verde y rojo, en ese orden, desde el punto de vista de frecuencia o energía.

Materiales fotónicos

# Salvando el planeta a través de materiales inteligentes

José Alberto Alvarado,  
Rene Pérez Cuapio, Mauricio Pacio  
Castillo y Héctor Juárez Santiesteban

Debido al crecimiento poblacional de manera exponencial hoy en día el consumo de combustibles de origen fósil se ha incrementado de manera drástica, dando como resultado problemas ecológicos y de salud humana lo cual es irreversible. Además, las diferentes actividades humanas han traído como consecuencia altos índices de contaminación del agua, aire y del suelo contribuyendo de manera directa al cambio climático, así como a la afectación en el desarrollo y crecimiento de los seres vivos incluyendo el de los seres humanos.



» Hoy en día se cuenta con una gran cantidad de configuraciones de celdas solares, así como también diversas tecnologías de obtención.

Por este motivo, desde hace varias décadas diversos grupos de investigación se han dado a la tarea de proponer materiales que puedan disminuir esta problemática, esto a través de la invención de dispositivos que aprovechen de manera eficiente los recursos renovables, así como en la remediación de la contaminación ambiental. Dichos materiales y dispositivos han demostrado características importantes en aplicaciones en celdas solares de película delgada, fotocatalisis, sensores de gas, entre otras (Mimouni et al. 2020; Wibowo et al. 2020). Celdas solares de película delgada y materiales con alto grado de actividad fotocatalítica son un par de líneas de investigación en las cuales el cuerpo académico CA-316 del Centro de investigación en Dispositivos Semiconductores del Instituto de Ciencias BUAP se encuentra trabajando. Por ello nuestro interés en dar un pequeño brevulario de estas tecnologías, las cuales sin lugar a duda impactarán en las próximas décadas en la reducción de la contaminación ambiental, así como en el saneamiento de las afluentes de agua, aprovechando de manera específica la energía solar.

### Las celdas solares

Las celdas solares de película delgada actualmente son una alternativa viable de sistemas eco-sustentables, ya que según datos obtenidos a través de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA por sus siglas en inglés) el costo de producción de energía MWh es considerablemente baja comparada con los métodos convencionales (carboeléctrica, la hidroeléctrica entre otras). Si dichos costos continúan disminuyendo a la par del desarrollo y la aplicación de nuevos materiales, beneficiarán de manera directa el medio ambiente y la calidad de vida del ser humano (Li et al. 2009).

Hoy en día se cuenta con una gran cantidad de configuraciones de celdas solares, así como con diversas tecnologías de obtención. Dichas tecnologías van desde las

más simples (soluciones químicas) hasta las más especializadas donde se requieren equipos de vacío altamente sofisticados como lo es el depósito por erosión catódica (sputtering).

En nuestro grupo de investigación se obtienen celdas solares por métodos químicos, los cuales por ser simples y que brindan buenos resultados, disminuirían de manera efectiva el costo de producción y con ello los costos de venta. La figura 1 muestra a) soluciones coloidales utilizadas para el depósito y desarrollo de celdas solares de puntos cuánticos y b) la fabricación de celdas solares tipo perovskita obtenida también por ruta química.

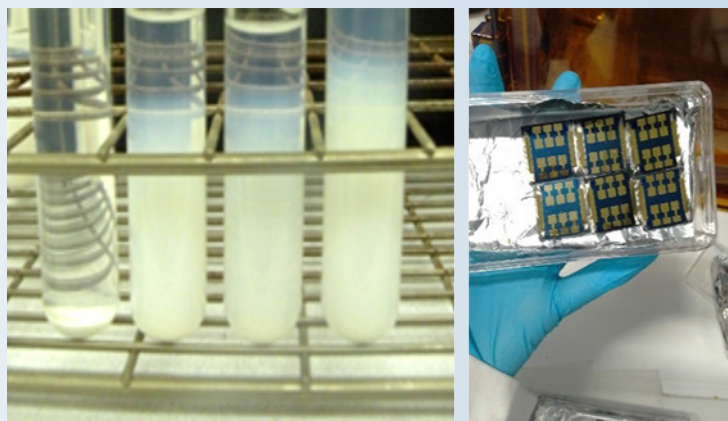
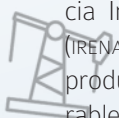


Figura 1. a) Soluciones coloidales de puntos cuánticos, b) celdas solares tipo perovskita.

### Fabricación de las celdas solares

Una vez preparadas las soluciones de los materiales requeridos para la fabricación de la celda solar estas se depositan sobre un sustrato (vidrio). Este sustrato cuenta con un material previamente depositado (FTO-óxido de estaño dopado con flúor) el cual tendrá un papel muy importante ya que funciona como un material conductor transparente, así como de contacto delantero, posterior a ello se deposita un material tipo-n ( $\text{TiO}_2$ ) obtenido por ruta coloidal en nuestro laboratorio, el cual tiene como función el coleccionar los portadores (electrones). La siguiente capa consta de un material absorbedor de fotones procedentes

» Las celdas solares de película delgada actualmente son una alternativa viable de sistemas eco-sustentables, según datos obtenidos a través de la Agencia Internacional de Energías Renovables



» En nuestro grupo de investigación se obtienen celdas solares por métodos químicos, los cuales por ser simples y que brindan buenos resultados, disminuirían de manera efectiva el costo de producción y con ello los costos de venta.

de la luz solar (perovskita orgánica "CsFA-MAPI"). Posteriormente, se deposita una capa transportadora de huecos (spiro) y el respectivo contacto posterior (oro) resultando en el dispositivo como se muestra en la figura 1b). A través de estas celdas solares se han alcanzado unas eficiencias experimentales que van del 19-25 % la cual se aproxima a la eficiencia teórica del 30% calculada (Ma y Park, 2020). Es importante mencionar que estas celdas están en pleno desarrollo y aún presentan algunas desventajas con respecto a las celdas solares de silicio comerciales como es: la estabilidad y rápido deterioro en condiciones ambientales, es por ello que, aún es necesario continuar con su desarrollo tecnológico en términos de eficiencia y fabricación. Una vez que este proceso de fabricación sea optimizado podrán ser producidas en masa permitiendo ser aplicadas de manera general a las diferentes actividades que requieran energía, y con ello poder reducir de manera paulatina el uso de combustibles fósiles o métodos de obtención altamente contaminantes.

### Síntesis de materiales y su aplicación en fotocatalisis

Otro problema de gran importancia y que ha demostrado ser cada vez más grave conforme pasan los años es la escasez del agua apta para consumo de los seres vivos, así como su continua contaminación debido a varios factores dentro de los cuales podemos mencionar: en primer lugar, el cambio climático; que ha traído como consecuencia la disminución y pérdida de los mantos acuíferos debido a los periodos prolongados de sequía, en segundo lugar, la continua sobre explotación de estos por



actividades humanas (ganadería y agricultura) y por último la gran cantidad de contaminantes generados debido a actividades agroindustriales los cuales son vertidos de manera directa a los afluentes de ríos, lagos y lagunas. Esto último ha provocado no solo la contaminación de estas reservas a cielo abierto, sino también la contaminación por filtración de los mantos acuíferos, provocando con ello el incremento en la concentración de metales pesados y de compuestos orgánicos complejos.

Aunque actualmente existen sistemas de tratamiento de estas aguas contaminadas, estos requieren de multietapas o crean subproductos nocivos como son los lodos y/o en su defecto no permiten remover algunos compuestos tóxicos (materiales orgánicos). Es por ello que nuestro grupo de investigación también se ha enfocado en el desarrollo de materiales que puedan resolver en gran medida esta problemática, tratando de atender las necesidades de eco-sustentabilidad, comenzando por seleccionar el material apropiado que reúna las características necesarias. Actualmente existen diversos materiales semiconductores que son usados para este fin, tal es el caso del óxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ), óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), el óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ), entre otros. El  $\text{ZnO}$  ha demostrado tener las cualidades necesarias que permiten



descomponer compuestos orgánicos difíciles de tratar por métodos convencionales (ósmosis inversa, coagulación, uso de microorganismos, entre otros). Debido a sus propiedades y su amplio ancho de banda prohibida en el ZnO la generación de pares electrón-hueco que permiten que el proceso de fotocátalisis se logre es a través de la radiación de luz ultravioleta. Sin embargo, la ingeniería de materiales ha permitido modificar sus propiedades intrínsecas como defectos estructurales, tamaño de nanopartícula, morfología, entre otros,

permitiendo mejorar la eficiencia fotocatalítica bajo irradiación de luz ultravioleta e incluso bajo irradiación directa de luz solar (Okeke et al. 2021). En nuestro grupo de investigación, hemos logrado sintetizar nanopartículas de ZnO por síntesis coloidal obteniendo nanopartículas de tamaño controlado de alrededor de 5 nm, con defectos superficiales tales como  $V_o$  y  $O_i$  así como nanoestructuras tipo hilo. Todas estas características nos han permitido lograr una mineralización de azul de metileno del 95% después de tan solo 70 minutos (figura 2).

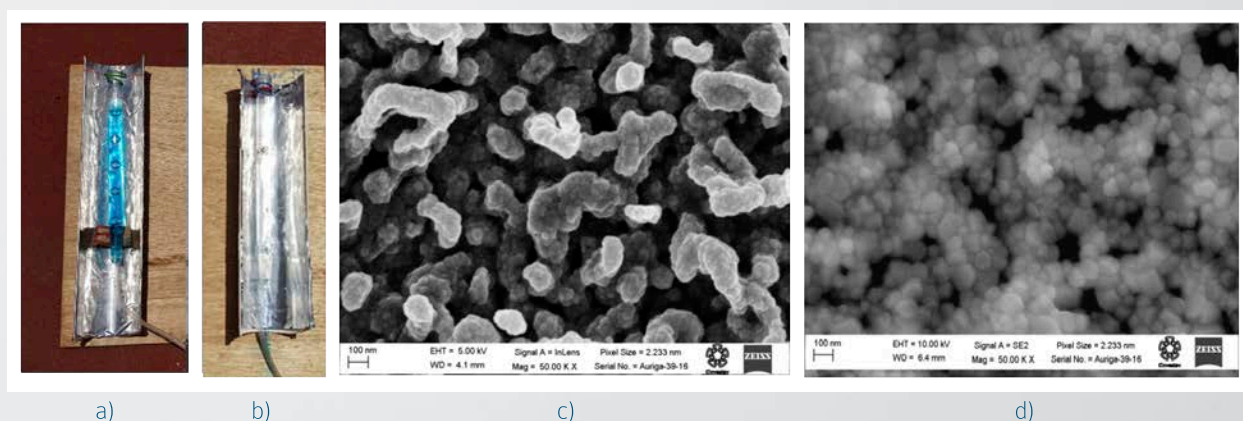


Figura 2. Solución de azul de metileno con nanopartículas de ZnO a) antes de ser irradiadas con luz solar, b) después de 70 min, c) y d) micrografía SEM de las nanopartículas obtenidas.

## Bibliografía

- Li, Song, Yong-Li Cao, Wen-Hua Li, y Zhi-Shan Bo. 2009. "A Brief Review of Hole Transporting Materials Commonly Used in Perovskite Solar Cells." *Rare Metals* 40. <https://doi.org/10.1007/s12598-020-01691-z>.
- Ma, Chunqing, y Nam Gyu Park. 2020. "A Realistic Methodology for 30% Efficient Perovskite Solar Cells." *Chem* 6(6): 1254–64.
- Mimouni, Refka et al. 2020. "Photocatalytic Degradation and Photo-Generated Hydrophilicity of Methylene Blue over ZnO/Zn-Cr2O4 Nanocomposite under Stimulated UV Light Irradiation." *Inorganic Chemistry Communications* 115: 107889.
- Okeke, I. S. et al. 2021. "Impact of Particle Size and Surface Defects on Antibacterial and Photocatalytic Activities of Undoped and Mg-Doped ZnO Nanoparticles, Biosynthesized Using One-Step Simple Process." *Vacuum* 187(January): 110110. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2021.110110>.
- Wibowo, Arie et al. 2020. "ZnO Nanostructured Materials for Emerging Solar Cell Applications." *RSC Advances* 10(70): 42838–59. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ra/d0ra07689a> (June 30, 2022).



# Materiales Híbridos

Rodolfo Palomino Merino<sup>1</sup>, Efraín Rubio Rosas<sup>2</sup>,  
José Eduardo Espinosa Rosales<sup>1</sup>, Ricardo Agustín Serrano<sup>1</sup>,  
Roberto Álvarez Zavala<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Físico Matemáticas BUAP

<sup>2</sup>Dirección de Innovación y Transferencia de Tecnología BUAP

La gran mayoría de los lectores del presente texto recordarán que sus cursos de Química generalmente estaban divididos en la llamada Química inorgánica y Química orgánica, en realidad el programa de estudios de niveles básicos hasta preparatoria no ha cambiado y no parece que suceda al menos a corto tiempo. Un segundo comentario interesante es que durante muchos años fue un enigma científico el descubrir las propiedades del colorante llamado azul maya y característico de los murales de importantes ciudades como Bonampak<sup>1</sup>. A este respecto, es importante mencionar que nuestros antepasados sintetizaron un compuesto, ahora ya lo sabemos, basado en colorante indigo extraído de plantas y una arcilla extraída de la tierra llamada Paligorskita; y que dieron como origen a uno de los primeros materiales híbridos (MH), debido a la mezcla de dos precursores uno orgánico y otro inorgánico. El desarrollo de materiales híbridos es una de las áreas de investigación más prometedoras y emergentes en química de materiales, porque tienen el potencial de combinar las propiedades positivas de sustancias completamente diferentes o de tener propiedades que ninguno de los componentes individuales posee, constan de al menos dos materiales fundamentalmente diferentes que están conectados a nanoescala o incluso a nivel molecular. Pueden definirse ampliamente como materiales sintéticos con componentes orgánicos e inorgánicos que están unidos entre sí por enlaces no

» El sílice está presente tanto en la arena como producto para producir el vidrio que todos conocemos y es uno de los cristales más conocidos que es el cuarzo.



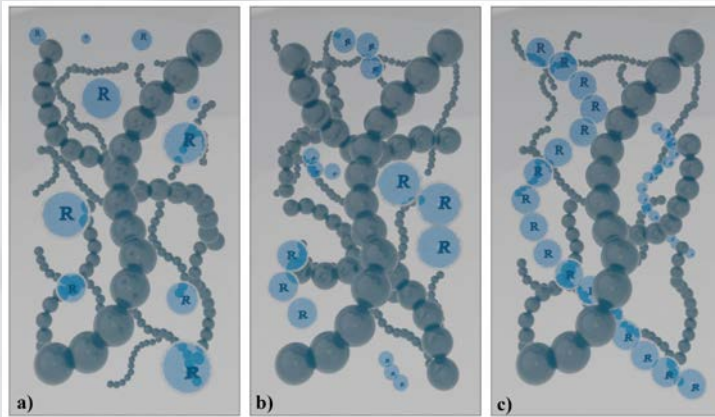


Figura 1. Dibujos representativos de: a) fragmentos de polímero unidos por enlace a red inorgánica, b) la mezcla física de los dos componentes orgánico-inorgánico, b) redes mezcladas. Las esferas unidas representan la cadena inorgánica y las esferas etiquetadas con un letra "R", de radical, representan las formas de cadenas de polímero.

covalentes (clase I, unidos por enlace de hidrógeno, fuerza electrostática o fuerza de van der Waals) o enlaces covalentes (clase II) a escala nanométrica.

Los avances en la síntesis y caracterización de los MH van ligados al desarrollo de dos procesos para la producción de nuevos materiales que son: El proceso para la síntesis de polímeros y el proceso Sol-Gel para la producción de materiales inicialmente óxidos metálicos. No son las únicas dos rutas para la obtención de MH, pero es una de las que han trabajado los autores del presente texto. La síntesis del primer polímero natural data del año 1870 cuando el químico Weatley modificó la celulosa natural para producir el polímero llamado Celuloide que fue tan importante siendo el soporte para los rollos fotográficos. El primer polímero sintético fue sintetizado por Leo Baekeland por el año de 1907 y fue la llamada Bakelita con innumerables aplicaciones de piezas de plástico para automóviles hasta los mangos para sujetar las sartenes calientes en la cocina. Un polímero muy conocido hoy en día es el PMMA (poli metil metacrilato) descubierto desde 1902 por los científicos alemanes Otto Rohm y Walter Bauer, y ha sido el responsable de una gran cantidad de aplicaciones que van desde ventanas hasta lentes de contacto. Uno de los materiales inorgánicos más usados en la actualidad es el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$  ó sílice) del cual se tienen reportes de su producción desde mediados del siglo XIX, pero la formalización del proceso vino de

los trabajos de Mckenzie, Dislish, Brinker o Klein; por mencionar solo algunos, pero lo importante es que el resultado es la producción de nanopartículas, fibras, geles, películas delgadas, aerogeles y monolitos<sup>2</sup>. El sílice está presente tanto en la arena como producto para producir el vidrio que todos conocemos y es uno de los cristales más conocidos que es el cuarzo.

Finalmente, una de las rutas para la síntesis de MH es la combinación química de los dos procesos mencionados anteriormente, pero, ¿en qué radica la posible complejidad de esta combinación? Mientras por un lado se lleva a cabo la polimerización del monómero, usando un catalizador físico o químico, para formar la cadena del radical elegido, por otro se lleva a cabo otra polimerización de iones metálicos formando una red del tipo vítrea. Dos procesos por separado llevan finalmente a saber el momento adecuado de juntar ambos procesos que darán como resultado un material de propiedades diferentes de los dos constituyentes iniciales. Una red vítrea además amorfa de tal forma que entre sus poros puede cruzarse la cadena polimérica. La figura 1 muestra un dibujo de lo que puede estar ocurriendo en la formación de un MH donde esquematizamos al menos 3 casos: a) fragmentos de polímero unido por enlace a red inorgánica, b) La mezcla física de los dos componentes orgánico-inorgánico, b) redes mezcladas

En el inciso a) tenemos radicales orgánicos unidos por un enlace químico a partículas de la red inorgánica, en el inciso b) tenemos pequeñas cadenas de radicales orgánicos ubicados entre los huecos de la red inorgánica sin enlace químico, y finalmente en el inciso c) tenemos dos cadenas orgánica e inorgánica mezcladas entre sí y sin enlace químico.

Como caso particular presentamos una red inorgánica de  $\text{SiO}_2$  sintetizada por el proceso Sol-Gel y la mezcla con el polímero PMMA. T. López<sup>2</sup> describe el proceso para la producción de sílice de la siguiente manera; a partir de un precursor llamado

Tetraetilortosilicato (TEOS) un solvente como alcohol isopropílico, un medio ácido y agua se lleva a cabo la reacción de hidrólisis para la producción de partículas de sílice que evolucionan de tal forma que producen una cadena como la descrita en la figura 1. Por otro lado, se usa el llamado monómero metacrilato de metilo para producir el PMMA mediante su polimerización usando como catalizador peróxido de benzoilo. Mientras los dos procesos anteriores evolucionan se hace una mezcla que idealmente debe finalizar en un material físicamente parecido a un plástico transparente que nos es quebradizo como la Sílice producida por Sol-Gel y que es más flexible como el PMMA. Producir este material es lo que llamamos una matriz híbrida de  $\text{SiO}_2$ -PMMA. Ahora la matriz híbrida puede usarse para que “albergue” dentro de ella lo que permita el buen uso de la química y la física además de la imaginación para lo cual describiremos al menos dos de ellos. Una matriz híbrida  $\text{SiO}_2$ -PMMA que mantenga embebidos iones de algún Lantánido por ejemplo Terbio. Esta combinación la podemos escribir como:  $\text{SiO}_2$ -PMMA:Tb<sup>3+</sup> indicando que dentro de la matriz tenemos embebido iones de Terbio valencia 3+ . El resultado de  $\text{SiO}_2$ -PMMA lo mostramos en la figura 2 inciso a) y el resultado de  $\text{SiO}_2$ -PMMA:Tb<sup>3+</sup>

El b) de la figura 2 resulta un material luminiscente debido a los iones del Terbio, la matriz tiene la propiedad de aceptar los iones manteniendo sus propiedades. Eso mismo es aprovechado para ahora introducir en la matriz los llamados puntos cuánticos (Quantum Dots ó QD). Los QD son materiales de tamaño entre 5 y 10 nanómetros sintetizados por diversos métodos; uno de ellos es el método hidrotermal y los más comunes son los de carbono y se pueden hacer a partir de grenetina o urea, por mencionar solo dos de los precursores más comunes. Después de que se tienen los QD se procede de la misma forma que se mencionó anteriormente a producir  $\text{SiO}_2$ -PMMA y durante la formación de la matriz

» Los recubrimientos poliméricos ampliamente utilizados por muchas décadas resultan ser a su vez escasamente resistentes a la abrasión.

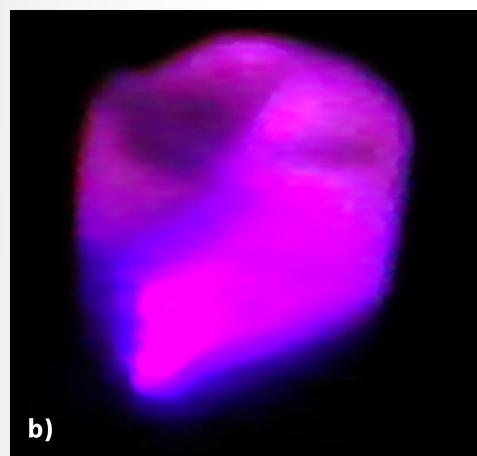
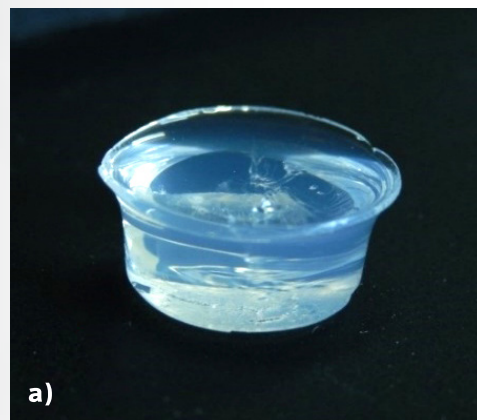


Figura 2. Inciso a) muestra de  $\text{SiO}_2$ -PMMA, y b) muestra de  $\text{SiO}_2$ -PMMA:Tb<sup>3+</sup>

se introducen los QD dispersos en algún líquido como agua o alcohol. El resultado final es un plástico híbrido con propiedades luminiscentes como se muestra en la figura 3. La figura muestra los QD dispersos en el líquido e iluminados con una lámpara ultravioleta destacando la emisión de los QD tanto en la región azul como en la verde. Se muestran dos fragmentos de la matriz ya formada y endurecida con los QD que mantienen la propiedad luminiscente.

La nueva generación de nuevos materiales empieza a dar frutos en las diversas aplicaciones, actualmente se tienen dispositivos de entretenimiento con pantallas planas basadas en QD embebidos en matrices sólidas para formar dispositivos optoelectrónicos, el futuro acaba de empezar con esta nueva generación de materiales híbridos.

Otros materiales híbridos que han tenido gran éxito en la industria son los recubrimientos antirrayado. Los recubrimientos poliméricos ampliamente utilizados por muchas décadas resultan ser a su vez escasamente resistentes a la abrasión. Por su parte, los recubrimientos de óxidos inorgánicos, que sí son altamente resistentes a la abrasión, no resultan estables sobre la superficie de materiales orgánicos. Son frágiles, no se adhieren bien a la superficie orgánica y son escasamente resistentes a las variaciones de temperatura, debido a que presentan coeficientes de dilatación térmica muy distintos a los de la base orgánica. Por este motivo, se introdujo en los años ochenta el uso de materiales híbridos orgánico-inorgánicos para recubrimientos antirrayado. Estos materiales híbridos contienen poliorganosiloxanos y normalmente un óxido cerámico (a menudo sílice) y se obtienen frecuentemente mediante procesos Sol-Gel. Ofrecen una resistencia al rayado claramente superior a la de los recubrimientos puramente poliméricos (debido a su estructura inorgánica), pero ofrecen también la deseada flexibilidad y adhesión a superficies polimérica, dificultando así la fractura del recubrimiento. Así, en los últimos años han ganado terreno en aplicaciones de recubrimiento, ya que es posible prepararlos de manera que sean transparentes. Las aplicaciones incluyen recubrimientos para plásticos resistentes al rayado y a la abrasión, recubrimientos funcionales en vidrio (hidrófilo, hidrófobo o coloreados), recubrimientos de protección a la corrosión para metales, capas que sirven de barrera en polímeros en contacto con alimentos, membranas sensitivas a gases, y recubrimientos antireflexión. Los recubrimientos derivados de estos materiales son muy flexibles, permitiendo su aplicación así en fibras de sílice o láminas plásticas, por lo anterior es que en el mercado de recubrimientos automotrices se han introducido con gran éxito, al generar recubrimientos transparentes y resistentes a los arañazos que hacen perdurar el brillo y son una

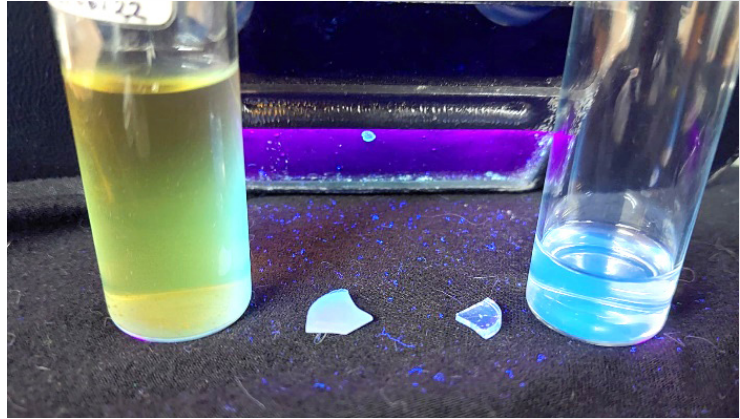


Figura 3. QD dispersos en líquido y las matrices que los contienen mostrando la propiedad luminiscente.

protección más contra factores ambientales tales como UV y ataque químico [3-5].

Finalmente es posible concluir que existe un gran campo abierto para desarrollar nuevos materiales con un gran control de la estructura y propiedades en los que es posible conjuntar lo mejor de dos mundos, los polímeros y los cerámicos a nanoescala, con amplias posibilidades de aplicaciones comerciales.

### Bibliografía

- Reyes Valerio Constantino; "De Bonampak al Templo Mayor: el azul maya en Mesoamérica", Siglo Veintiuno Editores, 1993. ISBN 968-23-1893-9
- T. López y A. Romero; El Proceso Sol-Gel; Contactos: Revista de Educación en Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa; Num. 6, mayo-agosto de 1992. ISSN: 0186-4084
- Arkles, B. (2001). Commercial Applications of Sol-Gel-Derived Hybrid Materials. MRS Bulletin, 26(5), 402-408. doi:10.1557/mrs2001.94
- Organic-Inorganic Hybrid Materials, Primera edición, publicada en Polymers, Editores: Jesús-María García-Martínez y Emilia P. Collar, Editorial: MDPI, 2021, ISBN 978-3-0365-1301-0
- Hybrid PMMA silica anticorrosive coatings for stainless steel 316L. Corrosion Engineering, Science and Technology, Volume 47, Number 2, April (2012), pp. 131-137(7). Caselis, J. L. Varela; Rosas, E. Rubio; Meneses, V. M. Castaño. ISSN: 1478-422X ONLINE ISSN: 1743-2782



En el Instituto de Física de la BUAP

# Nos estamos poniendo las pilas

Enrique Quiroga González

Instituto de Física, BUAP  
enrique.quiroga@correo.buap.mx



Laboratorio de Energía  
IFUAP-BUAP

» Adicional a la producción de los ánodos de silicio, hemos trabajado en el entendimiento de los mecanismos de almacenamiento de carga en los mismos.

El mundo moderno sería inimaginable sin baterías. En particular, teléfonos móviles tan delgados y con la capacidad de correr varias aplicaciones por horas, serían inconcebibles sin baterías de ion de litio. Tampoco sería factible contar con coches eléctricos que se carguen con electricidad de la red eléctrica. Las baterías de ion litio presentan las densidades energéticas más altas entre los distintos dispositivos de almacenamiento conocidos (cantidad de energía por unidad de peso o unida de volumen).

En el Laboratorio de Energía del Instituto de Física de la BUAP nos estamos poniendo las pilas para desarrollar materiales almacenadores de carga con característica superiores, al igual que nuevos conceptos de baterías y nuevas teorías para el

entendimiento de su funcionamiento. Se trata de uno de los menos de 5 laboratorios a nivel nacional en donde se tenga la capacidad de ir desde la síntesis de materiales hasta el ensamble de baterías de ion litio, siendo pioneros en el tema.

El material que más hemos estudiado y desarrollado como ánodo (electrodo negativo) de baterías es el silicio. No es un caso típico, ya que el material más utilizado como ánodo es el grafito, en el que se pueden intercalar iones de litio. En contraparte el silicio almacena litio formando aleaciones con él, pudiendo almacenar más de diez veces más litio que el grafito. La capacidad específica del silicio es de 4200 mAh/g, en tanto que la del grafito es de 370 mAh/g; pero la gran cantidad de litio almacenada produce un cambio de volumen de alrededor del

300% para producir la aleación  $\text{Si}_{22}\text{Li}_5$ . El cambio de volumen puede causar fracturas en el material, que devienen en un bajo rendimiento como electrodo. Sin embargo, al estructurar el material en forma de micro-hilos, se puede alcanzar su capacidad teórica de almacenamiento y un rendimiento superior (Quiroga-González, 2013). De forma adicional, para reducir costos, en el Laboratorio de Energía hemos estado trabajando en técnicas alternativas de microestructurado y en reducir el número de etapas de proceso. Hemos podido producir electrodos de silicio en forma de pilares (ver Fig. 1), nano-hilos y nano-paredes por medio de combinaciones de técnicas de grabado químico.

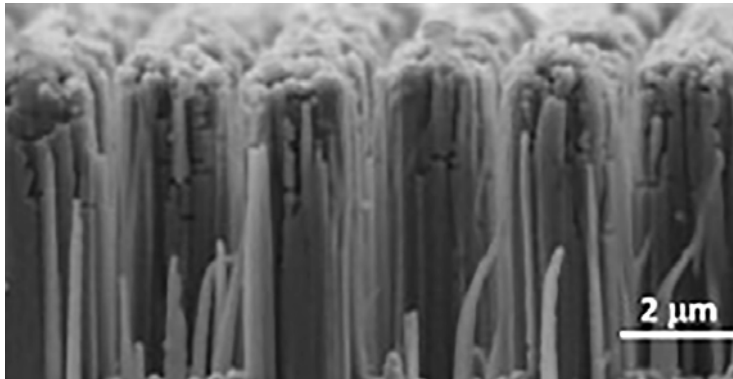


Fig.1. Micro-pilares de silicio producidos por combinaciones de técnicas de grabado químico, para usarse como ánodo de baterías de ion litio

Adicional a la producción de los ánodos de silicio, hemos trabajado en el entendimiento de los mecanismos de almacenamiento de carga en los mismos. Se han utilizado diversas técnicas de caracterización, como difracción de rayos x, espectroscopía Raman, microscopías electrónicas y espectroscopía de impedancia. En particular, esta última técnica nos ha dado información del cambio de las velocidades de transporte en las diferentes interfaces de la batería con ánodo de silicio. Se han podido identificar diferentes constantes de tiempo que varían conforme el electrodo se carga y descarga (ver Fig. 2). Se pudo concluir que los electrodos de silicio alcanzan una estructura estable después de varios ciclos, que permite el transporte de iones de litio de manera más eficiente (Espinosa-Villatoro, 2021).

Por otro lado, hemos podido desarrollar un cátodo (electrodo positivo) que combina alta capacidad y alta potencia instantánea. Hemos desarrollado el nuevo concepto de “dos cátodos en uno” (Garay-Marín, 2021). Para ello hemos utilizado un material que típicamente se puede cargar o descargar muy rápido (hasta en 2 minutos), que es el  $\text{LiFePO}_4$ , y un material que presenta alta capacidad específica (de hasta 1675 mAh/g), que es el azufre. Es importante mencionar que el  $\text{LiFePO}_4$  es de baja capacidad (170 mAh/g), y que el azufre se carga o descarga en más de 2 horas típicamente. Lo que se pretende con este nuevo concepto de cátodo es que el

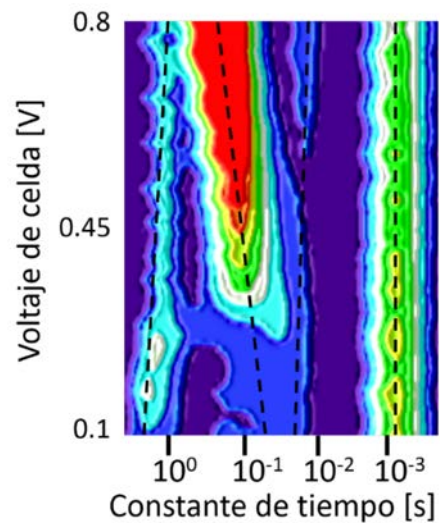


Fig.2. Constantes de tiempo identificadas a partir de datos de espectroscopía de impedancia, a diferentes voltajes de una batería con ánodo de silicio. Las líneas punteadas son una ayuda para identificar la tendencia de los datos

motor de un coche eléctrico se pueda encender (lo que demanda alta potencia) con la carga almacenada en el  $\text{LiFePO}_4$ , y que el azufre dé la carga suficiente para el resto del viaje (autonomía). Nos estamos poniendo las pilas desde la conceptualización hasta la implementación.

## Referencias

- Quiroga-González, E., Carstensen, J., Föll, H. (2013) “Optimal conditions for fast charging and long cycling stability of silicon microwire anodes for lithium ion batteries, and comparison with the performance of other Si anode concepts”, *Energies*, 6(10), pp. 5145-5156. DOI: 10.3390/en6105145.
- Espinosa-Villatoro, E., Nelson Weker, J., Ko, J. S., Quiroga-González, E. (2021) “Tracking the evolution of processes occurring in silicon anodes in lithium ion batteries by 3D visualization of relaxation times”, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 892, p. 115309. DOI: 10.1016/j.jelechem.2021.115309.
- Garay Marín, J. D., Quiroga González, E., Garza Tovar, L.L., Reuter, F., Kensity, C., Althues, H., Kaskel, S. (2022) “High performing Li ion battery with “two cathodes in one” of sulfur and  $\text{LiFePO}_4$  by strategies of mitigation of polysulfide shuttling”, *Batteries & Supercaps*, 4, pp. 359-367. DOI: 10.1002/batt.202000238.



Aplicación de materiales en  
estrategias de mitigación de

# contaminación ambiental

Heriberto Hernández Cocolézi, Ma. de Lourdes Ruiz Peralta  
y Eva Águila Almanza

## El panorama actual

El desarrollo de las diferentes sociedades ha traído consigo el crecimiento poblacional, el consumo de recursos naturales y la generación de residuos propios de las actividades humanas. Al día de hoy, se sabe que las causas principales de la contaminación ambiental son: la generación de desechos industriales, el uso de pesticidas, la deforestación, los derrames de combustibles y el aumento de la temperatura (contaminación térmica) asociado al calentamiento global (Naciones Unidas, 2022). Particularmente, la contaminación de los recursos hídricos ha alcanzado niveles alarmantes. De acuerdo con la Unesco, el sector

industrial descarga entre 300 y 400 megatoneladas de desechos en cuerpos de agua cada año (Unesco, 2022), contribuyendo a que más del 70% de los ríos, lagos y presas tengan algún grado de contaminación (Ávila, G, 2018). Ante este escenario, el saneamiento del agua, el cuidado del medio ambiente y el manejo de residuos representa uno de los más importantes retos ambientales para México y el mundo.

### Métodos avanzados para tratar agua

El saneamiento de agua residual se realiza en plantas de tratamiento o estaciones

» La producción de alimentos y bebidas, así como la fabricación y el consumo de bienes y servicios, son ejemplos de actividades que producen una gran variedad de residuos sólidos, cuyo manejo es inadecuado.



depuradoras de aguas residuales (EDAR), en las que se llevan a cabo una serie de procesos para eliminar sustancias contaminantes. Lamentablemente con frecuencia su eliminación no es completa, y algunas sustancias contaminantes capaces de producir daños significativos al sistema endócrino del ser humano y a la vida silvestre, incluso si están presentes en cantidades mínimas, pueden persistir en los tratamientos convencionales (Antunesa, et al. 2021). Actualmente se han propuesto procesos de oxidación avanzada (POA) como una tecnología de mayor eficacia para la remoción de contaminantes persistentes. Así, mediante POA es posible transformar colorantes textiles, pesticidas o fármacos en dióxido de carbono y agua (mineralización) empleando radicales hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ) (Wang, 2012) (Deng, 2015). Para ello se utilizan materiales semiconductores fotocatalizadores, los cuales se activan empleando luz apropiada —específicamente, los fotones o cuantos de luz deben tener energía mayor o igual a la de la banda prohibida del semiconductor—. Resultado de la interacción con la luz, en el material fotocatalizador se promueven electrones de la banda de valencia a la banda de conducción, generando pares electrón-hueco. La eficiencia de los POA está determinada por diversos parámetros, por ejemplo, la intensidad de la luz, la naturaleza y la concentración del contaminante, la temperatura de reacción y la cantidad empleada del material fotocatalizador. Asimismo, se investigan distintos tipos de arreglos, ya sea entre semiconductores tipo  $n$  o  $p$ , semiconductores con diferente valor de brecha prohibida, semiconductores

dopados, heterouniones tipo metal-semiconductor o materiales no-óxidos capaces de generar especies oxidantes ( $\cdot\text{OH}$ ). En las últimas décadas, las tecnologías de oxidación avanzada se han consolidado como una alternativa eficiente en la destrucción de sustancias tóxicas, incluyendo las orgánicas, las inorgánicas, los metales o los patógenos.

### El problema de los residuos sólidos

La producción de alimentos y bebidas, así como la fabricación y el consumo de bienes y servicios, son ejemplos de actividades cotidianas que producen una gran variedad de residuos sólidos, cuyo manejo frecuentemente es inadecuado. En la ciudad de Puebla y su zona conurbada en el año 2012 existían más de 187 restaurantes de mariscos, concentrados principalmente en el municipio de Puebla. En ellos, se consumen en promedio 15 especies, de las cuales 13 generan residuos sólidos como esqueletos de peces y crustáceos, y conchas de moluscos. El total de estos residuos sólidos es aproximadamente de 178 Ton/año. Por otra parte, en el sector restaurantero se consumen grandes cantidades de café en grano y envases Tetra-Pak para la elaboración de bebidas, cuyos residuos como el bagazo y los recipientes vacíos comúnmente no tienen un uso posterior. Tan solo una cadena de cafeterías con 57 establecimientos genera alrededor de 167 Ton/año de envases Tetra Pak y 58 Ton/año de bagazo de café, equivalentes a 15 y 45 camiones de basura, respectivamente.

» La mitigación de los residuos sólidos aparenta ser la mejor opción para reducir la cantidad de basura generada ya que, a partir de estos es posible obtener nuevos materiales, confiriéndoles un valor agregado.



### Los esqueletos de crustáceos como fuente de materiales avanzados

La mitigación de los residuos sólidos aparenta ser la mejor opción para reducir la cantidad de basura generada ya que, a partir de estos es posible obtener nuevos materiales, confiriéndoles un valor agregado. Por ejemplo, los esqueletos de camarón son de gran importancia, pues contienen quitina mediante la cual es posible obtener quitosano; un biopolímero con múltiples aplicaciones. En el área ambiental, el quitosano puede ser utilizado para absorber metales pesados presentes en medios acuosos. En este sentido es posible remover más del 99% de Cu (II) en menos de 20 minutos presente en una muestra problema. Este biopolímero también posee propiedades floculantes y quelantes, y es capaz de disminuir considerablemente la turbidez y la demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales. Por sus propiedades antifúngicas también puede ser utilizado para absorber aflatoxinas, como la AFB1, o para combatir plagas en cítricos originadas por hongos como la gomosis. La potente actividad antioxidante del quitosano se ha utilizado en la preservación de guayabas y en la conservación del rojo fresco de carne en refrigeración (hasta 10 días más de lo habitual). Es importante mencionar que, el control de propiedades como el peso molecular, grado de desacetilación y tamaño de partícula, es fundamental en la eficiencia de las aplicaciones mencionadas.

### Los peces no solo se comen


La hidroxiapatita (HA) es un mineral formado por fosfato de calcio y es un componente fundamental del hueso humano. Este mineral se puede sintetizar u obtener de fuentes naturales como los huesos de algunos animales; las aves y los peces son los más utilizados. Al igual que el quitosano, la HA tiene una gran variedad de aplicaciones. Con huesos del pez huachinango es posible absorber iones metálicos como Ni<sup>2+</sup> y Cu<sup>2+</sup> presentes en soluciones acuosas, incluso en los primeros minutos de contacto. Algunos de estos iones metálicos suelen hallarse en efluentes como el río Atoyac. La HA también es de gran utilidad para remineralizar piezas dentales o hueso posterior a una extracción molar. En este sentido se ha probado su eficacia en diferentes condiciones obteniendo resultados exitosos. Igualmente, la HA se ha utilizado en combinación con quitosano para elaborar una pasta dental capaz de remineralizar dientes erosionados; sin embargo, aún falta realizar pruebas clínicas más detalladas.

### Ostiones y almejas después de ser consumidos

Las conchas de moluscos contienen principalmente carbonato de calcio, material ampliamente utilizado en el sector de la construcción. Uno de los usos que se les

» También, esta clase de residuos sólidos han sido exitosamente empleados en la elaboración y aplicación de acabados residenciales.





ha dado a estos residuos es en la elaboración de pinturas más resistentes a climas extremos, como lluvia intensa y temperaturas mayores a 33 °C, en comparación a las pinturas comerciales. También, esta clase de residuos sólidos han sido exitosamente empleados en la elaboración y aplicación de acabados residenciales, los cuales se conservan incluso en presencia de humedad. En general, estos materiales podrían ser utilizados en la industria de la construcción y en el diseño de ambientes arquitectónicos diversos.

### **Diferentes usos para residuos sólidos que generamos en la vida cotidiana**

Un posible uso del bagazo de café y los envases tipo Tetra Pak es la elaboración de cartón con propiedades térmicas, que puede ser empleado como manga de vasos, o bien, el bagazo de café puede ser utilizado para sustituir parcialmente a la arcilla utilizada en la elaboración de losetas con potencial aplicación en pisos.

Como puede verse, los residuos sólidos son fuente de nuevos materiales si son procesados apropiadamente. Su uso les confiere una revalorización con impacto positivo, no solo económico sino también ambiental, estético y de espacio. Así, el trabajo de investigación desarrollado en el cuerpo académico Ingeniería en materiales (CA-177) de la BUAP tiene como objetivo el estudio de materiales fotocatalíticos, biomateriales y la transformación de residuos sólidos para su aprovechamiento al tiempo de mitigar su impacto ambiental. Además de los autores de este manuscrito,

el CA-177 está integrado por el Dr. Alejandro Escobedo Morales, Dr. Efraín Rubio Rosas y Dr. Ernesto Chigo Anota.

### **Referencias**

- United Nations (2022). Disponible en: <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change> [Consultado 09-06-2022].
- UNESCO (2022). Disponible en: <https://en.unesco.org/waterquality-iiwq/wq-challenge> [Consultado 09-06-2022]
- INEGI (2022) Disponible en: <https://cuentame.inegi.org.mx/default.aspx> [Consultado 09-06-2022]
- Ávila, G. et al., (2018). Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos. Disponible en: [https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/Informes/Especiales/ESTUDIO\\_RIOS\\_LAGOS\\_ACUIFEROS.pdf](https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/Informes/Especiales/ESTUDIO_RIOS_LAGOS_ACUIFEROS.pdf) [Consultado en 09-06-2022]
- <sup>5</sup> Antunesa, E. (2021), Chapter three- application of biochar for emerging contaminant mitigation, Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection, 7 pp. 65-91. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2021.08.003> [Consultado 12-06-2022]
- <sup>6</sup> Wang, L. (2012) "Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Formation of Hydroxyl Radical and Application" Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 42:3, pp. 251-325. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/loi/best20> [Consultado 13-06-2022]
- <sup>7</sup> Deng, Y. (2015) "Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment" Curr Pollution Rep 1, pp 167-176. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40726-015-0015-z> [Consultado 13-06-2022]

# Electrohilado

## Técnica versátil para la obtención de nanofibras

Sergio A. Sabinas-Hernández\*, N. Ruñilo Silva González,  
J. Miguel Gracia Jiménez

Instituto de Física, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Apdo., Postal J-48,  
Puebla Pue, 72570, México; ssabinas@ifuap.buap.mx (S. A. S. H.)\*; gracia@ifuap.buap.mx  
(M. G. J.); silva@ifuap.buap.mx (R. S. G.).

El electrohilado es una técnica versátil que depende de la repulsión electrostática entre cargas superficiales para depositar de forma continua fibras (materiales 1-Dimensionales) a partir de un fluido viscoelástico (fluido que tiene comportamiento tanto de líquido como de sólido). En un proceso típico, una disolución polimérica es inyectada desde una pequeña boquilla bajo la influencia de un campo eléctrico tan intenso como del orden de kV/cm. El campo eléctrico induce cargas que eventualmente son distribuidas sobre la superficie de una gota de la disolución. Como resultado, la gota experimenta principalmente dos fuerzas: la repulsión electrostática entre las cargas superficiales y una fuerza de Coulomb ejercida por el campo eléctrico. Bajo la acción de estas interacciones electrostáticas, la gota de líquido se distorsiona en una forma cónica comúnmente conocida como cono de Taylor. Una vez que la fuerza del campo eléctrico supera un valor umbral, las fuerzas electrostáticas superan la fuerza de tensión superficial de la gota de la disolución polimérica y entonces fuerza la eyección de un chorro de líquido de la boquilla. Este chorro electrificado pasa por un proceso de estiramiento y “batido” hasta formar una fibra continua muy fina. Conforme el chorro líquido es continuamente alargado y el solvente es evaporado su diámetro es disminuido hasta el orden de micrómetros o nanómetros. Atraída por el colector aterrizado colocado bajo la boquilla, la fibra cargada es depositada, frecuentemente, de forma aleatoria

formando una estera no tejida, muy similar a una membrana. En un modo de alimentación continua, se pueden formar numerosas fibras en un periodo de tiempo corto (Li y Xia, 2004). Finalmente, estas fibras son recogidas en la superficie del colector (véase figura 1).

La técnica permite obtener fibras de diferentes materiales (Xue *et al.*, 2017), por ejemplo, polímeros, cerámicos (véase figura 2a-b) e incluso combinaciones de ellos. Su versatilidad ha permitido la generación de nanofibras con un diverso número de estructuras secundarias (Li y Xia, 2004). Por ejemplo, aquellas que se caracterizan por su porosidad, como son las estructuras huecas y las del tipo núcleo-vaina. Incluso las fibras pueden ser ensambladas en arreglos ordenados o estructuras jerárquicas manipulando la alineación, el apilamiento y/o el plegamiento de las mismas. Así, una modificación del colector en el cual se depositan las fibras durante el proceso de electrohilado permite la obtención de un arreglo de nanofibras uniaxialmente alineadas (Li, Wang y Xia, 2003, 2004); esto brinda propiedades mecánicas adicionales al material. Además, la superficie y/o el interior de las nanofibras pueden ser funcionalizados con diferentes especies químicas o nanopartículas (NPs) durante o después del proceso de electrohilado (véase figura 2c).

Cuando el diámetro de las fibras se encuentra en el orden de los nanómetros ( $\leq 200$  nm) tiene varias consecuencias en las propiedades de las fibras: a) A menor diámetro mayor superficie específica (Wendorff,

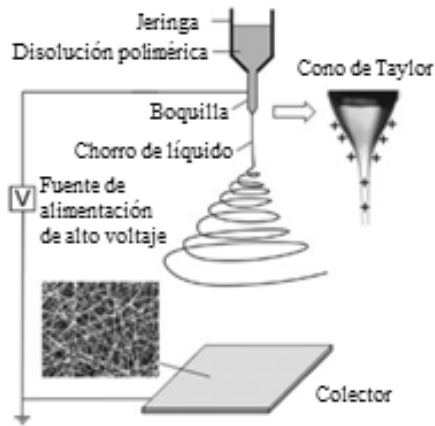


Fig. 1. Esquema del montaje experimental básico para electrohilado, adaptado de (Li y Xia, 2004).

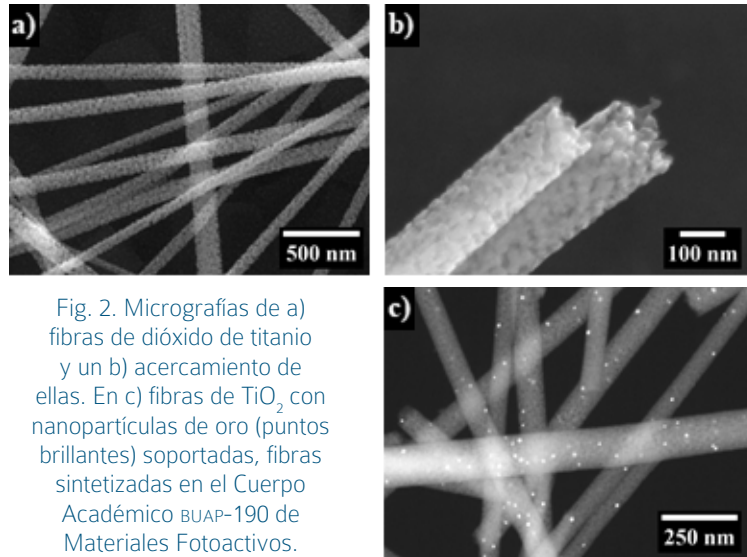


Fig. 2. Micrografías de a) fibras de dióxido de titanio y b) acercamiento de ellas. En c) fibras de TiO<sub>2</sub> con nanopartículas de oro (puntos brillantes) soportadas, fibras sintetizadas en el Cuerpo Académico BUAP-190 de Materiales Fotoactivos.

Agarwal y Greiner, 2012). Es importante mencionar que, aunque comúnmente la superficie específica de las fibras es menor al compararla con materiales mesoporosos tales como los tamices moleculares, los poros de un material electrohilado son relativamente más grandes y todos los poros están completamente interconectados formando una red tridimensional. Como resultado, la superficie entera es completamente accesible a especies químicas, lo que es relevante para una aplicación en catálisis (Li y Xia, 2004). b) La tensión de rotura de las fibras también escala inversamente proporcional con su diámetro. c) El diámetro de los poros de membranas obtenidas por electrohilado disminuye al reducirse el diámetro de las fibras. La reducción en el diámetro de poro está fuertemente relacionada con la modificación de la dinámica de gases o líquidos dentro o que fluyen a través de la membrana (Wendorff, Agarwal y Greiner, 2012).

Estos atributos hacen que las fibras electrohiladas sean aceptables para diversas aplicaciones como textiles inteligentes, la purificación del aire y el agua, protección ambiental, recolección/conversión y almacenamiento de energía, liberación controlada de medicamentos, ingeniería de tejidos, catálisis heterogénea y fotocatalisis heterogénea, etc. Una aplicación prometedora de

los materiales de membrana basados en nanofibras electrohiladas es en la fabricación de máscaras faciales debido a sus poros de tamaño nanométrico, peso ligero y alta eficiencia de filtración. Recordemos que la pandemia de coronavirus del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV-2) de 2019 obligó al uso generalizado de cubiertas faciales para reducir la infección por el virus. La máscara facial actúa como una barrera para la transmisión de aerosoles infectados entre su usuario y las personas que lo rodean (Naragund y Panda, 2022).

Consideramos que el electrohilado es una técnica muy versátil para la obtención de materiales a base de nanofibras con diversas aplicaciones, lo que le asigna un carácter multidisciplinario involucrando a investigadores de diferentes campos.

### Bibliografía

- Li, D., Wang, Y. and Xia, Y. (2003) 'Electrospinning of polymeric and ceramic nanofibers as uniaxially aligned arrays', *Nano Letters*, 3(8), pp. 1167–1171. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/nl0344256>.
- Li, D., Wang, Y. and Xia, Y. (2004) 'Electrospinning nanofibers as uniaxially aligned arrays and layer-by-layer stacked films', *Advanced Materials*, 16(4), pp. 361–366. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/adma.200306226>.
- Li, D. and Xia, Y. (2004) 'Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel?', *Advanced Materials*, 16(14), pp. 1151–1170. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/adma.200400719>.
- Naragund, V.S. and Panda, P.K. (2022) 'Electrospun nanofiber-based respiratory face masks—a review', *Emergent Materials*, 5(2), pp. 261–278. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42247-022-00350-6>.
- Wendorff, J.H., Agarwal, S. and Greiner, A. (2012) *Electrospinning: Materials, Processing, and Applications*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, Boschstr.
- Xue, J. et al. (2017) 'Electrospun Nanofibers: New Concepts, Materials, and Applications', *Accounts of Chemical Research*, 50(8), pp. 1976–1987. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.7b00218>.

# Nanociencia y Nanotecnología

## en nuestra vida cotidiana

Umapada Pal

Instituto de Física, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 18 Sur y Av. San Claudio, C.U., Puebla, 72570, Mexico, e-mail: upal@ifuap.buap.mx

Las nanoestructuras son entidades diminutas que consisten en unas pocas moléculas o átomos con tamaños inferiores a 100 nm, es decir, más pequeños que 1/1000 del grosor del cabello humano (verse figura 1). Debido a su pequeño tamaño, ofrecen varias propiedades sorprendentes, muy

diferentes a las propiedades de los átomos/moléculas o materiales en bulto (gran cantidad de un mismo material). Por ejemplo, las nanoestructuras de un material tienen una mayor resistencia mecánica, una mayor reactividad química y características ópticas muy diferentes a las de su contraparte bulto.

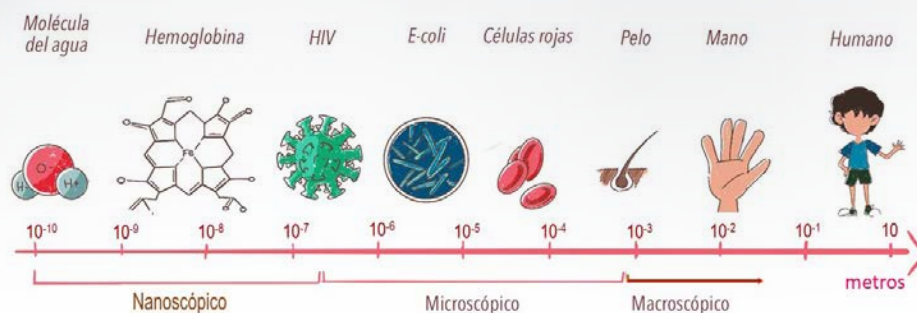


Figura 1. Comparación de tamaños de objetos cotidianos, microorganismos, y moléculas.

El contenido de su gabinete de baño puede contener productos micelares o liposomales que usan nanoesferas para atrapar la suciedad o administrar medicamentos o productos para el cuidado de la piel.

Mientras que la nanociencia corresponde al estudio de la estructura y propiedades de los objetos nanométricos, la nanotecnología corresponde al diseño, manipulación y aplicación de nanomateriales. Debemos recordar que los nanomateriales existieron en la naturaleza en todos los tiempos (verse figura 2), y su uso ha sido desde la época romana (verse figura 3). Pero lo que no sabíamos eran las características o propiedades especiales de los nanomateriales, que fueron demostradas por primera vez por el Prof. Canham

en la década de 1990<sup>2</sup>. Así, surgió desde entonces el estudio de la nanociencia y la nanotecnología. Muchos productos de nanotecnología imitan estructuras o procesos biológicos naturales. Sin embargo, durante los últimos 30 años, el aumento del interés y la financiación en nanotecnología ha llevado a un rápido desarrollo en todas las áreas de la ciencia y la ingeniería, incluida la química, los materiales, la energía, la medicina, la biotecnología, la agricultura, los alimentos, los dispositivos electrónicos y los productos de consumo.

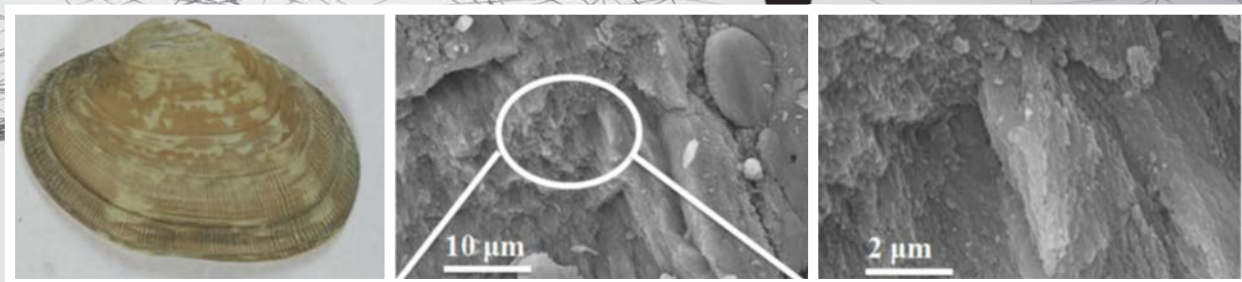


Figura 2. Concha marina, e imágenes de microscopio electrónico de barrido de la sección transversal de la concha marina con diferentes aumentos. Imágenes tomadas de la ref. 1.

En la vida cotidiana, ahora podemos encontrar la aplicación de la nanotecnología en una variedad de productos de consumo: nanopartículas de plata que se utilizan para brindar propiedades antimicrobianas en líquidos desinfectantes, jabones para manos, vendajes y calcetines; uso de nanopartículas de óxido de zinc y óxido de titanio como elementos protectores UV activos en los protectores solares modernos. El contenido de su gabinete de baño puede contener productos micelares o liposomales que usan nanoesferas para atrapar la suciedad o administrar medicamentos o productos para el cuidado de la piel. Incluso en los automóviles que utilizamos, la pantalla de visualización y las ventanas están recubiertas con partículas de sílice hidrofóbica, y los lubricantes que utilizamos en sus motores contienen nanoestructuras de disulfuro de molibdeno (MoS<sub>2</sub>) que reducen la fricción.

Para los bibliotecarios y las empresas editoriales, la nanotecnología presenta interesantes posibilidades para el almacenamiento de información, en una rama de la nanotecnología que va mucho más allá de los microprocesadores y los dispositivos físicos de almacenamiento. De hecho, la disponibilidad de teléfonos inteligentes (delgados y livianos) y computadoras portátiles de alta capacidad de almacenamiento son las bendiciones de los avances actuales de la nanotecnología.

El uso de nanomateriales y nanotecnología en el campo de la medicina, la terapia y los tratamientos biomédicos es enorme. Algunas nanopartículas son conocidas como



Figura 3. La impresionante copa Lycurgus revela un rojo brillante cuando la luz pasa a través de sus secciones de vidrio que contienen nanopartículas aleadas con oro y plata. Fotografía: Imágenes del Museo Británico.



Figura 4. Aplicación de nanotecnología en diferentes ámbitos de la vida cotidiana.

agentes de contraste y podrían ser muy útiles para identificar tumores en zonas específicas del cuerpo o monitorear la dirección de las células cancerosas. Nanopartículas plasmónicas como el Au absorben fuertemente la luz visible, generando una alta temperatura en su entorno, que se puede utilizar para destruir las células malignas. Por lo tanto, estas nanopartículas han sido utilizadas para la detección y el tratamiento de cáncer. En el campo de terapia, la nanotecnología permite concebir, a nivel molecular, toda suerte de vectores y anticuerpos específicos. Por lo tanto, se vislumbra como la medicina del futuro.

Sin embargo, como ocurre con cualquier nuevo desarrollo científico, la nanotecnología no está exenta de preocupaciones, siendo los aspectos clave la salud, la seguridad y el medio ambiente. Compartir investigaciones y datos en campo "nano" ayudará a mejorar nuestra comprensión y avance. Si utilizamos nuestra comprensión de la nanociencia

y aplicamos la nanotecnología de manera adecuada y correcta, seguramente cambiarán nuestra vida y los avances científicos en la próxima década.

**Bibliografía:**

1. Karunakaran et al., Materials Science and Engineering C 126 (2021):112170
2. Cullis, A G; Canham, L T, Nature 353 (1991) 335-7.

» Algunas nanopartículas son conocidas como agentes de contraste y podrían ser muy útiles para identificar tumores en zonas específicas del cuerpo o monitorear la dirección de las células cancerosas.



