

**Cristina Elena Hoppe**Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales,  
Universidad Nacional de Mar del Plata-Conicet**Federico José Williams**Instituto de Química Física de los Materiales,  
Medio Ambiente y Energía, UBA-Conicet

# Nanomateriales creados en la Argentina

**E**n los últimos años se han fabricado computadoras más rápidas, pantallas más delgadas, más brillantes y más livianas, motores más eficientes. Alcanza con mirar a nuestro alrededor para darnos cuenta de que nos encontramos rodeados por objetos que han cambiado nuestras vidas. Están hechos de gran diversidad de materiales, generados por técnicas basadas en avances del conocimiento de la física y la química de la materia.

También se han puesto a punto en tiempos recientes nuevos métodos de diagnóstico y tratamiento de enfermedades, de recuperación de ambientes contaminados y de generación y almacenamiento de energía. Muchos de esos notables progresos tecnológicos han sido posibles gracias al desarrollo reciente de los *nanomateriales*. El objetivo de este artículo es discutir qué son y para qué sirven,

y dar ejemplos de algunos que fueron elaborados en la Argentina para cumplir determinadas funciones.

## Nanomateriales

Un nanómetro (nm) es la milmillonésima parte del metro. Se habla de *nanoescala* para designar tamaños que oscilan entre el de los átomos (aproximadamente 0,2nm) y unos 100nm. De la misma manera, se puede hablar de *microescala* para designar tamaños que se ubican en el orden de los micrómetros (millonésimas de metro). Como comparación, el cabello humano tiene alrededor de 80.000nm de espesor (u 80 micrómetros,  $\mu\text{m}$ ); los glóbulos rojos, alrededor de 7000nm de diámetro, y una molécula de una de las formas del carbono,

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

La nanotecnología, que permite diseñar y producir materiales autorreparantes, autolimpiantes, bactericidas o hidrófobos, entre muchos otros, ocupa un lugar de creciente protagonismo en la sociedad actual.

el fullereno (que contiene 60 átomos de ese elemento y toma la forma de una pelota de fútbol), un diámetro de 0,7nm. Llamamos nanomateriales a aquellos en los que por lo menos una de sus tres dimensiones pertenece a la nanoescala.

Si las tres dimensiones de un material están en la nanoescala, hablamos de *nanopartículas*; si dos de sus dimensiones lo están, tenemos *nanocables* o *nanovarillas*, y si solo una de sus dimensiones pertenece a esa escala, tenemos películas delgadas. Esto se ilustra en la figura 1, que muestra ejemplos de nanomateriales de distintas dimensiones.

Se ha demostrado experimentalmente que las propiedades físicas y químicas de los materiales cambian drásticamente cuando se reduce alguna de sus dimensiones a la nanoescala. En otras palabras, los nanomateriales poseen propiedades diferentes de los de dimensiones mayores. En la nanoescala cambian radicalmente las características eléctricas, ópticas y magnéticas, el punto de

fusión y la estabilidad térmica. Por ejemplo, el color del oro muda de amarillo a rojo, y su punto de fusión de 1060°C a 430°C cuando sus tres dimensiones se encuentran en la nanoescala y forman nanopartículas de 20nm de diámetro.

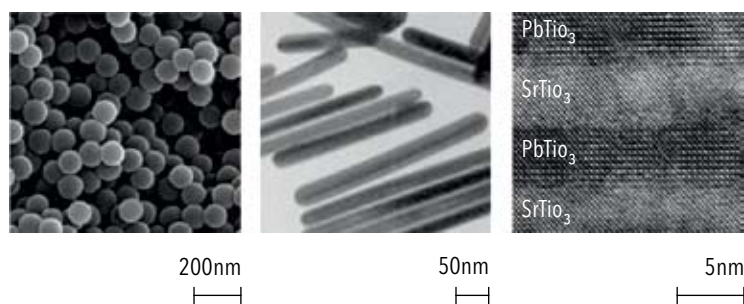
Esos cambios de propiedades son función del tamaño. La figura 2 ilustra cómo la fluorescencia que producen soluciones de nanopartículas de seleniuro de cadmio, un material semiconductor, sintetizadas por el grupo de investigación de Sara Aldabe Bilmes en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA), varía a medida que aumenta el diámetro de esas partículas en la nanoescala. Al pasar este de 2,5nm a 5nm, las soluciones mudan de azul a naranja. Como se aprecia, la fluorescencia de un mismo material puede ser diferente, a pesar de conservar inalterada su composición química.

También la reactividad química de los materiales depende de sus dimensiones. El oro es químicamente inerte pero sus nanopartículas pueden ser extremadamente reactivas: son capaces de catalizar la oxidación completa de monóxido de carbono a temperatura ambiente, proceso para el que catalizadores basados en platino necesitan más de 100°C.

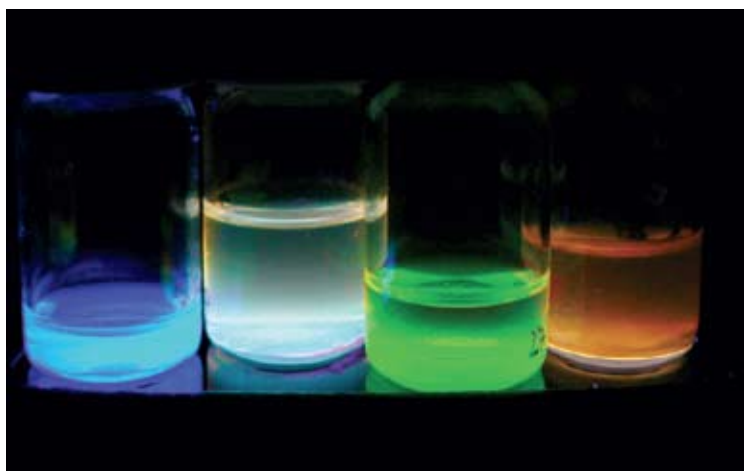
En la Argentina se han diseñado catalizadores que utilizan nanopartículas, por ejemplo, los realizados por el grupo de investigación de Miguel Laborde, de la citada facultad, para eliminar el monóxido de carbono de una corriente de hidrógeno enviada a celdas de combustible. Se han logrado conversiones del 98% para la oxidación preferencial de monóxido de carbono en una atmósfera reductora con catalizadores basados en nanopartículas de ceria ( $\text{CeO}_2$ , un óxido de cerio, figura 3) modificadas con óxido de cobre. Esos resultados prometedores indican una posible aplicación de los nuevos nanomateriales en celdas de combustible, proceso que ya ha comenzado con la construcción de una planta piloto en la Universidad de Buenos Aires.

¿Por qué cambian las propiedades de los materiales en la nanoescala? Por dos fenómenos únicos. Uno es que la relación entre la cantidad de átomos que componen la superficie externa del material y la cantidad que se encuentra en su interior es muy distinta, en favor de la primera. Los materiales cuyas tres dimensiones son mayores que la nanoescala tienen la mayor parte de los átomos en su interior. Al reducir sus dimensiones a la nanoescala, la mayoría de ellos queda en la superficie. Nanopartículas de 92 átomos tienen el 80% de ellos en su superficie. El aumento del número de átomos superficiales modifica en gran medida las características termodinámicas del material, por ejemplo, disminuye su punto de fusión.

El otro fenómeno es que los electrones del material pasan a estar distribuidos en distintos niveles de energía, lo que genera una nueva estructura electrónica. En materiales que superan la nanoescala los electrones se encuentran en niveles de energía que resultan de la



**Figura 1.** Nanomateriales de distintas dimensiones: nanopartículas de óxido de silicio  $\text{SiO}_2$  de 100nm de diámetro (izquierda), nanocables de plata de 20nm de espesor (centro) y películas delgadas de capas alternadas de 5nm de espesor de titanatos de estroncio y plomo (derecha). Las imágenes de las nanopartículas y nanocables fueron tomadas con un microscopio de barrido electrónico y la de la película delgada, con un microscopio de transmisión electrónica.



**Figura 2.** La emisión fluorescente de soluciones de nanopartículas de seleniuro de cadmio es función de su diámetro, que varía, de izquierda a derecha, de 2,5 a 5nm. Foto Sara Aldabe Bilmes

interacción de un número muy grande de átomos, los cuales forman bandas continuas de energía. Al reducir las dimensiones a la nanoescala, disminuye notablemente el número de átomos y, consecuentemente, los niveles de energía resultan más espaciados y son discretos en lugar de bandas continuas. El fenómeno es importante en materiales semiconductores, y también se aprecia en los conductores que tengan un número pequeño de átomos (por ejemplo en clusters metálicos). Eso modifica las propiedades eléctricas, ópticas y magnéticas del material.

## Nanotecnología

Nanotecnología es el conocimiento tecnológico que resulta de las propiedades específicas de los nanomateriales. Su aparición fue posible debido a la combinación de nuestra reciente capacidad de ver y manipular materia en la nanoescala con nuestra comprensión de las interacciones que ocurren en el nivel atómico.

Actualmente se pueden diseñar y producir nanomateriales que posean propiedades específicas y puedan ser utilizados en un conjunto muy grande de aplicaciones. Por ejemplo, los hay con la capacidad de repararse por sí solos al romperse o materiales autorreparantes, con la de limpiar su superficie al absorber radiación solar o autolimpiantes, que impiden el crecimiento de bacterias o bactericidas, e incluso que rechazan el agua o hidrofóbicos (la expresión técnica suele ser *hidrofóbicos*).

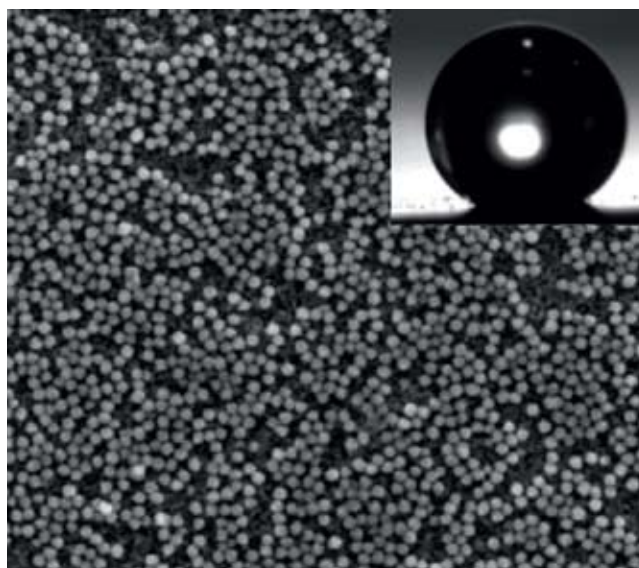
Del mismo modo, se han desarrollado catalizadores que permiten tanto la producción de nuevas moléculas como eliminar contaminantes de la atmósfera, de suelos y del agua de modo eficiente y respetuoso del ambiente. También se están creando nanomateriales para generar y almacenar energías de fuentes renovables, con la intención de que puedan ir reemplazando a los combustibles fósiles no renovables, el principal origen de energía mundial en estos momentos.

Los nanomateriales están dando lugar a métodos de diagnóstico médico basados en el uso de nanosensores, y a métodos terapéuticos basados en nanomateriales que pueden liberar drogas en el lugar preciso donde son necesarias. Incluso se están comenzando a realizar ensayos clínicos con ciertas nanopartículas para tratar enfermedades.

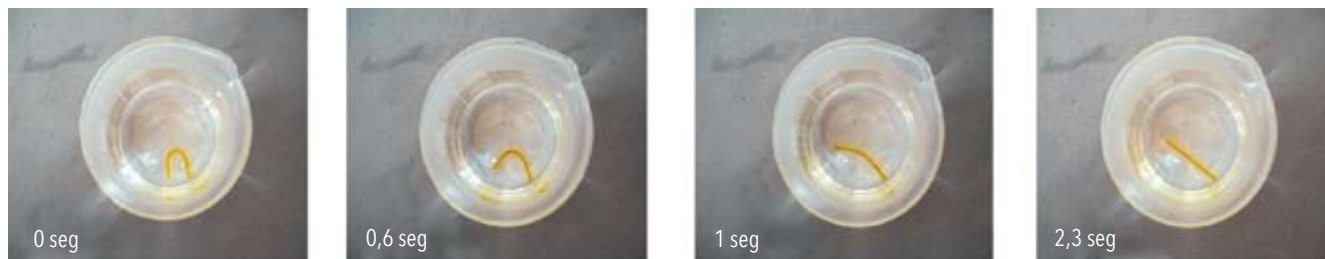
Industrias como las de la construcción, del acero, del aluminio, de cosméticos, farmacéutica, automotriz, aeroespacial, médica y electrónica han mejorado sus productos o generado nuevos utilizando nanotecnología. Ya existen muchos en el mercado y muchos más están en gestación. Se puede concluir que la nanotecnología desempeñará un papel cada vez más grande en la sociedad.



**Figura 3.** Imagen de nanopartículas de ceria ( $\text{CeO}_2$ ) utilizadas como catalizadores para eliminar monóxido de carbono de celdas de combustible de hidrógeno. Miden 200nm de diámetro. Foto Matías Jobbágy obtenida por microscopía de barrido electrónico



**Figura 4.** Superficie superhidrofóbica de acero dotada de nano y micropartículas con la capacidad de unirse fuertemente a la superficie de hierro. La micrografía electrónica de barrido muestra las micropartículas de óxido de silicio unidas al acero. En el rincón superior derecho se observa que el agua no moja la superficie sino que forma una gota esférica sobre ella.

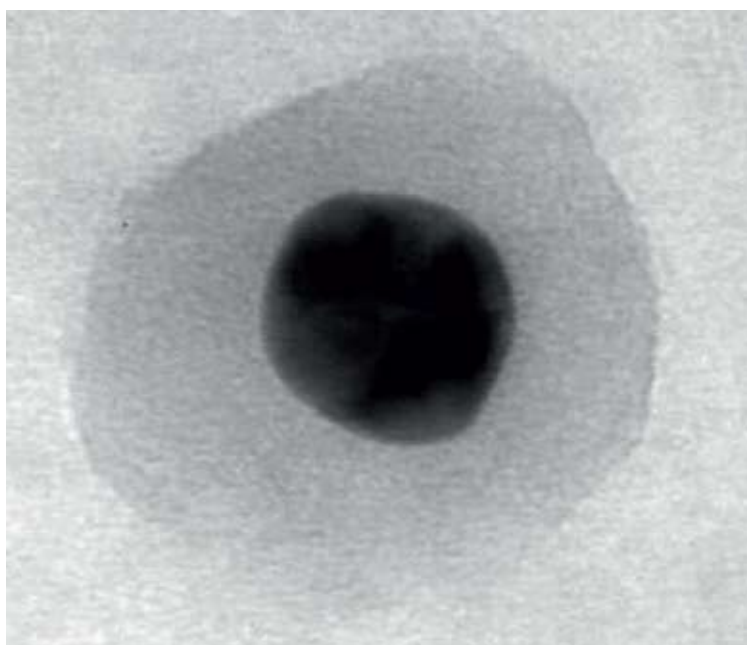


**Figura 5.** Ciclo de recuperación de la forma observado en un nanomaterial polimérico desarrollado en Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales de la Universidad Nacional de Mar del Plata y el Conicet. Advértase cómo se recupera la forma recta original de una barra de 3cm de largo por activación térmica en un baño de agua a 60°C (de izquierda a derecha se aprecia la recuperación de la forma con el tiempo).

## Nanotecnología en la Argentina

En los últimos años el gobierno nacional designó la nanotecnología como área de interés estratégico para el desarrollo nacional y comenzó a financiar proyectos que apunten a transferir a usos diversos el conocimiento específico generado en universidades e institutos de investigación.

Diversos grupos de investigación científica y tecnológica diseminados por el país estudian variados aspectos de los nanomateriales, principalmente en Bariloche, Buenos Aires, Córdoba, La Plata, Mar del Plata, Río Cuarto y Santa Fe. Apuntan a que puedan aplicarse a cuestiones como las mencionadas en los párrafos precedentes. En lo que sigue entraremos en algunos detalles de esos estudios.



**Figura 6.** Imagen de microscopía de transmisión electrónica del sensor de glucosa. Se puede observar la nanopartícula de oro de 10nm de diámetro recubierta por un material que puede detectar ópticamente la molécula de glucosa. Foto Ernesto Calvo

## Nanorreactores biofuncionales

Las moléculas de ADN son esenciales para la vida, ya que contienen la información genética de casi todos los seres vivos. Para la investigación genética y otros estudios de biología molecular, medicina y biotecnología, lo mismo que para determinadas investigaciones aplicadas que se basan en el conocimiento genético, se requiere generar múltiples copias idénticas de moléculas de ADN, lo que se denomina *amplificación* y se realiza por un procedimiento llamado *reacción en cadena de la polimerasa* (o PCR, por *polymerase chain reaction*). El método es engorroso y requiere dar muchos pasos. Para mejorarlo utilizando novedosos nanomateriales, un grupo de investigación conducido por Galo Soler Illia, que trabaja en laboratorios de la Comisión Nacional de Energía Atómica, ha desarrollado *nanorreactores biofuncionales* que amplifican esas moléculas. Consisten en películas delgadas de óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) que contienen nanoporos sobre los que se esparce ADN-polimerasa, una enzima capaz de replicar la estructura del ADN. Con biorreactores de este tipo se podrían armar dispositivos portátiles para secuenciar ADN.

## Nanomateriales hidrófobos

Las superficies hidrófobas no se mojan, sino que rechazan el agua. Técnicamente se usa la expresión *superficies superhidrofóbicas* para designar aquellas cuya estructura micro y nanorrugosa les confiere una particular topografía por la que las gotas de agua toman con ellas un contacto mayor a 150 grados, de suerte que una pendiente de solo 3 grados alcanza para que rueden y remuevan toda suciedad. Son, por ello, superficies autolimpiantes. En el centro de investigación y desarrollo de la empresa Tenaris Siderca, en Campana, se han generado películas superhidrofóbicas sobre superficies de acero utilizando métodos químicos sencillos (figura 4). El recubrimiento hidrófobo fue diseñado para adherir-

se fuertemente a la superficie del metal y crear un sistema estable. Ello se logró mediante partículas capaces de generar múltiples uniones covalentes con la superficie de acero. Al unir partículas de tamaños ubicados en la microescala con otras de tamaños en la nanoescala se logra una película cuya estructura impide que el agua moje la superficie de acero. Los nanomateriales superhidrofóbicos tienen usos en la generación de superficies autolimpiantes de acero.

## Nanomateriales con memoria de forma

Los materiales con memoria de forma, luego de haber sido sometidos a un procedimiento llamado *programación* que les da una o más formas temporarias, son capaces de recuperar su forma original. Lo hacen bajo un estímulo externo, como calor, luz, agentes químicos, campo eléctrico o magnético u otros. Esa capacidad es de gran interés para aplicaciones tecnológicas y biomédicas, como la fabricación de aviones de geometría variable, estructuras espaciales desplegables, dispositivos médicos diversos, actuadores mecánicos y sensores. Tanto el tipo de material como el estímulo utilizado pueden variar.

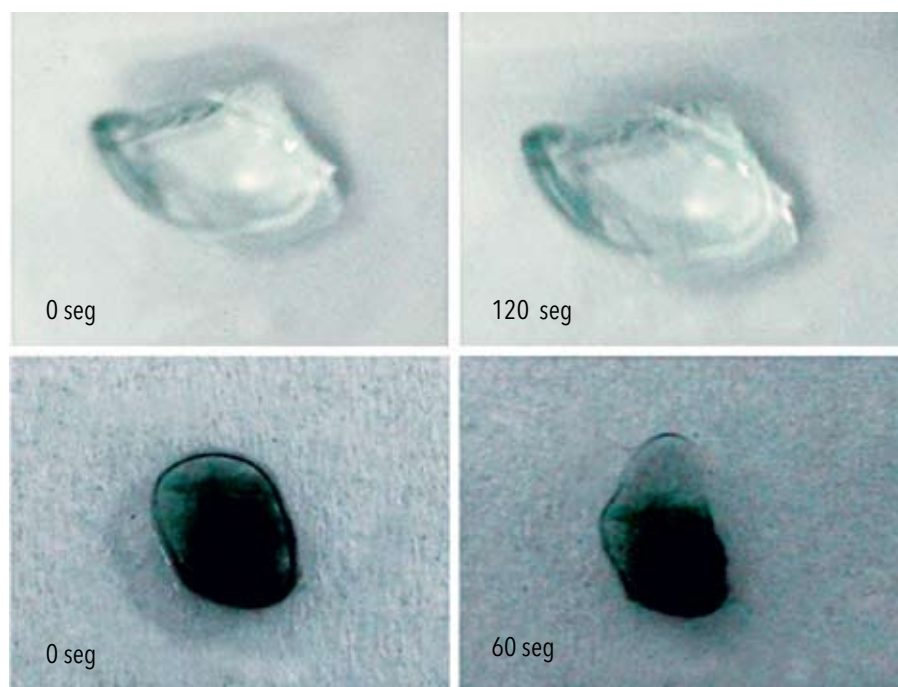
Materiales con memoria de forma basados en polímeros, desarrollados recientemente, ofrecen ventajas frente a aleaciones metálicas, entre ellas menor costo, capacidad de recuperarse de grandes deformaciones, bajo peso y facilidad de procesamiento. En el Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales, de la

Universidad de Mar del Plata y el Conicet, se trabaja en esa clase de materiales (figura 5). El propósito es diseñar un polímero con buena memoria de forma y adicionarle de manera controlada nanopartículas de magnetita (óxido de hierro) para hacerlo susceptible a estímulos magnéticos. Una aplicación que se vislumbra para ellos es la confección de músculos artificiales.

## Nanopartículas que detectan biomoléculas

Muchos capítulos de la medicina moderna (por ejemplo, los métodos de diagnóstico) o de la biología molecular requieren detectar la presencia de biomoléculas con una gran selectividad y con dispositivos cada vez más pequeños, sea *in vitro* o *in vivo*. Para hacerlo se pueden utilizar nanopartículas que detecten moléculas específicas y pongan el hecho de relieve por señales colorimétricas, fluorescentes, electroquímicas o magnéticas.

El trabajo conjunto de dos grupos de investigación, uno conducido por Ernesto Calvo en la citada facultad de la UBA, y el otro por Alejandro Fainstein en el Centro Atómico Bariloche, llevó a encontrar nanopartículas de oro que detectan glucosa. Los investigadores depositaron glucosa oxidasa y un cable molecular de osmio sobre la superficie de las nanopartículas. Cuando estas interactúan con una molécula de glucosa, se genera una señal óptica (figura 6). Todos los componentes utilizados se encuentran dentro de cada nanopartícula, con lo que el



**Figura 7.** Efecto de la irradiación con láser de un hidrogel sin nanopartículas (fotos superiores) y de uno modificado con nanopartículas (fotos inferiores). En el primero no se observa cambio de volumen apreciable, mientras que en el segundo la presencia de las nanopartículas hace que el material absorba radiación y la libere como calor. Este da lugar a un cambio de volumen del gel y la liberación de la solución interna. Foto César Barbero

biosensor selectivo tiene solo 10nm de diámetro y es uno de los más pequeños creados.

## Nanomateriales que liberan fármacos de manera controlada

Los hidrogeles son redes poliméricas capaces de absorber grandes cantidades de agua o fluidos biológicos. Tienen propiedades físicas relacionadas con ese alto contenido de agua y una consistencia blanda y elástica que los acerca a las propiedades de los tejidos vivos. Por ello, se han usado para diversas aplicaciones biomédicas y farmacéuticas, como dispositivos de liberación de fármacos, materiales oftalmológicos e ingeniería de tejidos. Un grupo de investigación conducido por César Barbero, que trabaja en la Universidad Nacional de Río Cuarto, está desarrollando nanomateriales termosensibles basados en hidrogeles que son capaces de liberar una droga luego de recibir un estímulo externo.

Son una combinación de hidrogeles porosos con nanopartículas conductoras de polianilina. La presencia de esas nanopartículas hace que el material absorba radiación y la libere como calor. Este da lugar a un cambio de volumen del gel y la liberación de la solución interna.

La figura 7 muestra el efecto de la radiación infrarroja en hidrogeles con y sin nanopartículas. En los segundos no se observa cambio de volumen, mientras que en el material con nanopartículas se lo observa con claridad, así como la liberación de una solución colocada en su interior. Así se podrían crear dispositivos activados a distancia capaces de liberar drogas en sitios específicos del organismo.

## En síntesis

La nanotecnología está teniendo crecientes repercusiones económicas y sociales. Aumentan también las investigaciones científicas y tecnológicas que se realizan sobre el tema en el mundo y en la Argentina, donde los nanotecnólogos están obteniendo importantes resultados en sus investigaciones. Nanosensores que detectan biomoléculas o contaminantes de aguas, suelos o aire, nanocatalizadores que pueden eliminarlos, nanomateriales para producir y almacenar energías renovables, nuevos métodos de diagnóstico y tratamiento de enfermedades, son ejemplos de los campos que se abren a una disciplina que ya reveló una notable capacidad de traer mejoras a la vida de la gente. **CH**

### LECTURAS SUGERIDAS

**AA.VV.**, 'Nanotecnología', diversos artículos, CIENCIA HOY, 14, 84, diciembre de 2004-enero de 2005.

**CARACCILO PC et al.**, 2011, 'Pequeñas fibras, grandes aplicaciones', CIENCIA HOY, 21, 121, febrero-marzo.

**SÁNCHEZ RD y ZYSLER RD**, 2005, 'Magnetismo de sistemas nanoscópicos. Algunas aplicaciones', CIENCIA HOY, 15, 85, febrero-marzo.

**SOLER ILLIA G**, 2010, *Nanotecnología, el desafío del siglo XXI*, Eudeba, Buenos Aires.



### Cristina Elena Hoppe

Doctora en ciencia de materiales, Universidad Nacional de Mar del Plata.

Jefa de trabajos prácticos, Facultad de Ingeniería, UNMDP.

Investigadora adjunta del Conicet.

*hoppe@fi.mdp.edu.ar*



### Federico José Williams

PhD, Universidad de Cambridge.

Profesor adjunto, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.

Investigador independiente del Conicet.

*fwilliams@qi.fcen.uba.ar*