

ARTÍCULO

Nanociencia y Nanotecnología en el Siglo XXI

Dra. Melina Brenda Rossi

Coordinadora de Proyectos en Investigación y Desarrollo
BRa Benito Roggio Ambiental S.A.

Nanoceldas solares, nanocables conductores, nanodispositivos electrónicos, nanodelivery de drogas...¿realidad o ficción? ¿Por qué el prefijo nano pareciera estar en boga, en la actualidad?

Revisando la cronología de los hechos, resulta inevitable eludir el aporte del físico Richard Feynman, reconocido como el padre de la nanotecnología. Cuando Feynman pronunció la emblemática frase "There's plenty of room at the bottom", estaba vaticinando que sería posible manipular y controlar átomos y moléculas individuales, a corto plazo. En ese entonces, nadie concibió que se estaba gestando una rama científica, que prometía un amplio espectro de aplicaciones. Su vaticinio fue pronunciado en una conferencia dictada en el Instituto CalTech, en 1959. Sólo 17 años más tarde, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer (IBM) diseñaron y construyeron el microscopio de escaneo por efecto tunel (STM, por sus siglas en inglés), a partir del cual es posible realizar un mapeo de la topografía de una superficie conductora, a escala atómica.

En las dos últimas décadas, el mundo nanocientífico ha captado una particular atención por parte del sector académico y empresarial. Al interés por profundizar los conocimientos de este campo se le suman las demandas sociales, económicas y ambientales, las cuales indican que el Siglo XXI se perfila con un amplio potencial en el desarrollo de la dupla nanociencia - nanotecnología.

Pero veamos de qué se trata esto de *mirar* y, más interesante aún, *operar* a nanoescala. Y aquí es donde entran en juego varios interrogantes. ¿Qué es la nanoescala? ¿Qué objetos toman dimensiones en el rango de la nanoescala? ¿Cómo se miden estos objetos? A lo largo del texto iremos respondiendo a estas inquietudes. Pero antes de adentrarnos en este mundo fascinante es fundamental comprender la dimensión de la nanoescala. Un nanómetro (nm) es la billonésima parte de un metro. Esto escapa a nuestra capacidad de observar, de

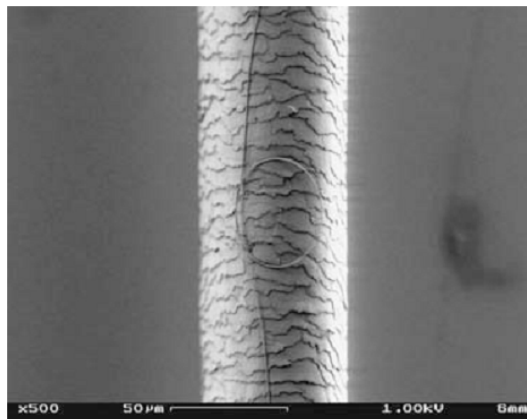


Figura 1. Micrografía TEM de un nanocable de silicio enrollado, depositado sobre una hebra de cabello humano. *Nature*, 2003, 426, 816-819.

manera directa, objetos de este tamaño. Es por ello que no podemos medirlos con una regla, por ejemplo, como cuando uno mide elementos macroscópicos, como pueden ser las dimensiones de una pared, de un mueble, la altura de una persona. Para ayudarnos a comprender la dimensión de esta escala hagamos el ejercicio comparativo entre objetos nanoscópicos y objetos macroscópicos. Resulta muy ilustrativo el siguiente ejemplo: un nanómetro es 100 mil veces menor que el diámetro de un cabello humano o el espesor de una hoja de papel (Fig.1). Tomemos otro ejemplo: una gota de agua tiene un diámetro de, aproximadamente, 1 millón de veces el correspondiente al de una cadena de ADN. La Fig. 2 presenta más ejemplos ilustrativos de la magnitud de la escala nanométrica.

La composición de los materiales nanométricos puede ser muy variada, pudiéndose encontrar carbono elemental, metales, compuestos cerámicos, compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos (como ser óxidos y sulfuros metálicos). Pueden presentar un sinnúmero de morfologías, entre ellas, las siguientes estructuras (Fig.3):

- Partículas (esféricas, planas, etc.).
- Cables / Tubos.
- Dendrímeros (estructuras ramificadas).

Las propiedades de los materiales nano-estructurados difieren de las correspondientes a los materiales macroscópicos, a los que pasaremos a llamar materiales bulk. Esto se debe, principalmente, a dos particularidades: (1) la mayor relación superficie/unidad de volumen y (2) la influencia de efectos cuánticos. Pasemos a desarrollar el punto (1) y, para ello, supongamos que tenemos una partícula esférica con un diámetro 0.1 mm; su relación superficie/unidad de volumen es de $3 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$. Si redujéramos su tamaño tanto como para obtener una partícula de 100 nm, en este caso, la relación superficie/unidad de volumen es de

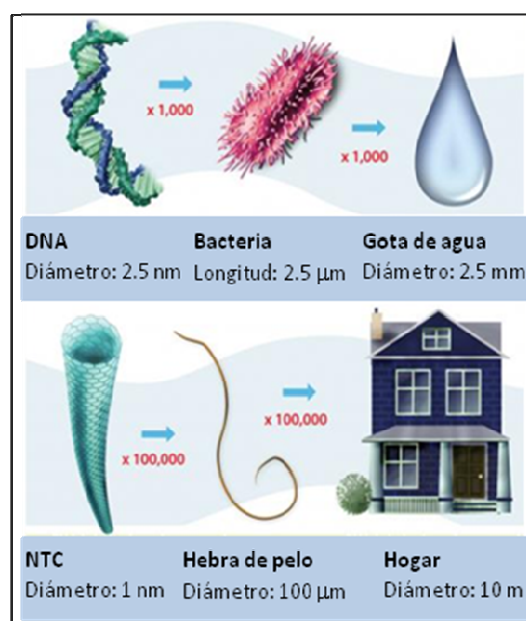


Figura 2. Comparación entre cuerpos nanoscópicos y macroscópicos.

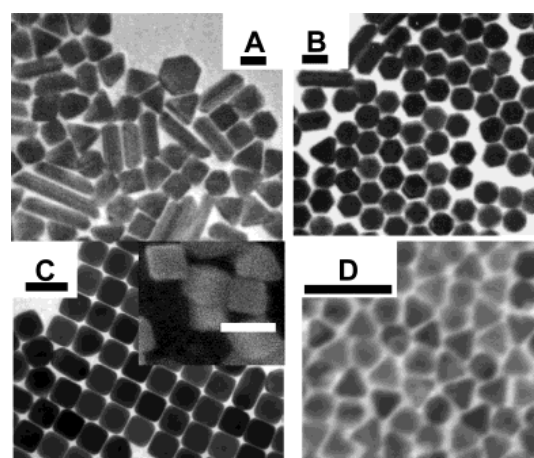


Figura 3. Micrografía TEM de nanopartículas de Oro, sintetizadas bajo diferentes condiciones. *JACS*, 2004, 126, 8648-8649.

$3 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$. Esto nos indica que disminuir 1000 veces el tamaño de una partícula provoca un incremento de 1000 veces en la relación superficie/unidad de volumen. En otras palabras, hay una mayor superficie expuesta por cantidad de material, en relación a lo observado para un material bulk. Esta ganancia es sumamente importante e interesante, teniendo en cuenta que el área reactiva de una partícula es aquella que se encuentra expuesta al medio; por lo tanto, un incremento en la misma aumenta la reactividad de manera sustancial. En el campo de la catálisis, esto supone un aporte significativo en la eficiencia de trabajo de los nanocatalizadores, en relación a los análogos de tipo bulk.

Ahora, enfoquémonos en los efectos cuánticos. ¿De qué manera influyen en el comportamiento disímil de estos materiales nanoestructurados, en relación a sus congéneres de tipo bulk? Se observa que los efectos cuánticos provocan cambios significativos en las propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas. Tomemos como ejemplo el carbono grafito utilizado en lápices. Éste no se comporta como un material conductor. Sin embargo, esta propiedad cambia, radicalmente, cuando se pliega una hoja de átomos de carbono, de espesor correspondiente al diámetro atómico, formando lo que se conoce como nanotubo de carbono (NTC). El comportamiento eléctrico de este material no puede explicarse con las leyes básicas de la electricidad, como ser la Ley de Ohm. Lo cierto es que presenta una alta conductividad eléctrica, entre otras propiedades, lo cual lo convierte en un material interesante y de una gran versatilidad, en lo que a aplicaciones se refiere.

Previo a abordar las características ópticas de este tipo de materiales, hagamos una breve reseña acerca de por qué vemos objetos coloreados. Los materiales interactúan con la luz y, a resultas de esta interacción, se presentan con un color definido. La luz blanca se descompone en distintas longitudes de onda (cada una de las cuales está asociada a un determinado color). Cuando ésta incide sobre un material, éste absorbe un rango de longitudes de onda y dispersa otras. Es la sumatoria de estas últimas la que da lugar a la coloración propia de cada material. En otras palabras, al observar un material coloreado podemos pronosticar en qué rango, del espectro visible, el material absorberá energía.

Las propiedades ópticas de los materiales bulk se explican haciendo uso de un modelo llamado estructura de bandas. Este modelo se aplica a estructuras sólidas macroscópicas extendidas. Tomemos como ejemplo un lingote de oro. El mismo

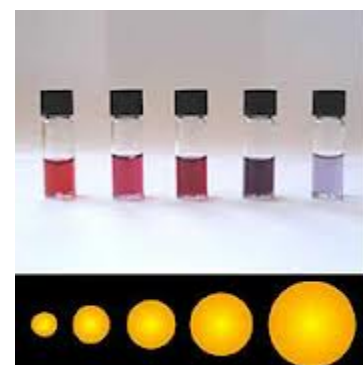


Figura 4. Nanopartículas de Oro. De izq. a der., el tamaño aumenta.

presenta un color dorado. Sin embargo, la interacción de la luz con este mismo metal, nanoestructurado, resulta significativamente diferente. Tal es el caso de las nanopartículas de oro, las cuales no presentan el brillo dorado, característico del oro bulk. Se observa que, al disminuir el tamaño, el color de las mismas cambia de azul a rojo (Fig. 4). Este mismo fenómeno se observa en otros materiales nanométricos.

Paradójicamente, las propiedades ópticas de los nanomateriales son explotadas desde hace siglos. La copa de Lycurgus (Siglo IV a.C.) es, quizás, el ejemplo más ampliamente conocido. En aquel entonces, los romanos coloreaban las piezas de vidrio, a soplar, con inclusiones de oro nanoparticulado, aún a pesar de desconocer el comportamiento de este material nanométrico.

Actualmente, el conocimiento de las propiedades de los materiales a escala nanométrica es verdaderamente más amplio.

No sólo existen herramientas que nos permiten realizar una descripción minuciosa de las propiedades de estos materiales, sino que, también, es posible prepararlos (en la jerga científica, sintetizarlos), teniendo control de su morfología así como tamaño final. La versatilidad en sus aplicaciones sigue abriendo camino a nuevas investigaciones en el ámbito académico y empresarial. La conjunción de estos saberes con conocimientos ya adquiridos en ingeniería, así como una buena cuota de ingenio son los motores que impulsan el desarrollo de la nanotecnología. La nanotecnología apuesta a dar respuesta a distintas demandas, por ejemplo, a través del desarrollo de dispositivos, con diferentes funcionalidades.

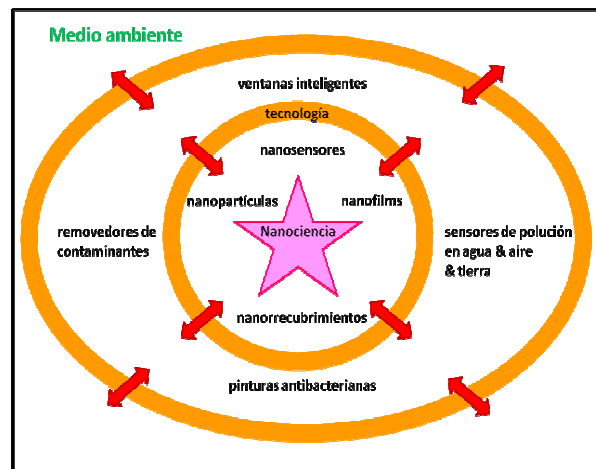
Uno de los motores que impulsa la profundización de estas investigaciones y desarrollos es la creciente contaminación ambiental, que tanto preocupa, en estos días, a nivel mundial. Esta temática está siendo abordada con una mayor conciencia e interés por parte de las entidades públicas y los sectores privados, habida cuenta las repercusiones negativas, a mediano y largo plazo, como consecuencia de un uso desmesurado e imprudente de los recursos no renovables. Los términos *greentech* y *cleantech*, vinculados a tecnologías "verdes" y "limpias", han pasado a formar parte del vocabulario cotidiano en algunos sectores que apuestan a la innovación en nanotecnologías sustentables. Las tecnologías "verdes" pretenden suplir necesidades concretas, combinando la tríada atractivo - seguro - duradero, y provocando un impacto ambiental mínimo o nulo. Todo pareciera indicar que habrá una fuerte apuesta al desarrollo de la nanotecnología, en lo que a aplicaciones para el medio ambiente se



Figura 5. Copa de Lycurgus. Siglo IV a.C.

refiere. Las mejores alternativas “verdes” estarán basadas en materiales nanoestructurados, los cuales presentan un rendimiento igual o, incluso, superior al de los materiales bulk, haciendo uso de una menor cantidad de material (recordemos la alta relación superficie/unidad de volumen, lo cual demanda el empleo de menor cantidad de materia prima). Estas propiedades aportan un valor agregado a este tipo de materiales, los cuales presentan un universo de aplicaciones, en el área medioambiental (Esquema General.).

En estos últimos años, ha crecido el número de sensores empleados para el monitoreo ambiental, dada la relativa sencillez para su preparación, el bajo costo



Esquema general. Algunas aplicaciones de nanomateriales, en el área medioambiental.

de producción así como la alta sensibilidad y selectividad que los caracteriza. En este sentido, los nanomateriales presentan un gran potencial para este tipo de dispositivos, teniendo en cuenta la alta superficie expuesta (y, consecuentemente, su alta reactividad superficial), su eficiencia catalítica y su alto poder adsorbente. Esto permite la detección de contaminantes en niveles traza, esto es, concentraciones en el orden de las partes por millón (es el orden de magnitud con el que, generalmente, se cuantifican todas las sustancias que puedan resultar tóxicas para el medio ambiente y la salud humana).

Ya hemos visto el caso particular de los nanotubos de carbono (NTC), al respecto de sus propiedades conductoras. A estas últimas se suman una alta área superficial externa e interna (correspondiente a la cavidad del tubo), una elevada conductividad térmica así como una alta resistencia mecánica. Todas estas

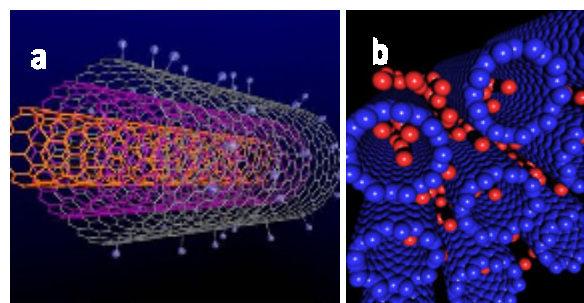


Figure 6. (a) Geometría espacial de los NTC. (b) Adsorción de partículas sobre las caras expuestas al medio.

características convierten, a estos nanomateriales, en candidatos ideales para detectar contaminación ambiental, como ser iones metálicos pesados (mercurio, plomo, arsénico, plata), pesticidas organofosforados, gases tóxicos, aguas con residuos industriales (Fig. 6).

Las nanopartículas de oro, también, pueden ser potenciales agentes removedores de contaminantes, como ser compuestos orgánicos clorados, pesticidas, iones mercurio, todos ellos presentes en aguas contaminadas. Al mismo tiempo, pueden ser empleadas para remediar corrientes de aire. Estas mismas nanopartículas, combinadas con dióxido de titanio, convierten al dióxido de azufre (gas tóxico) en azufre. Vale destacar que el dióxido de titanio nanoparticulado es comúnmente utilizado en aguas potabilizadas para el consumo humano, debido a su potencialidad para la descomposición de toxinas dañinas para el organismo. El principio de funcionamiento está basado en la activación de estas nanopartículas mediante luz solar, lo cual promueve el ataque a los agentes contaminantes, dando lugar a compuestos no tóxicos y de fácil asimilación (Fig.7).

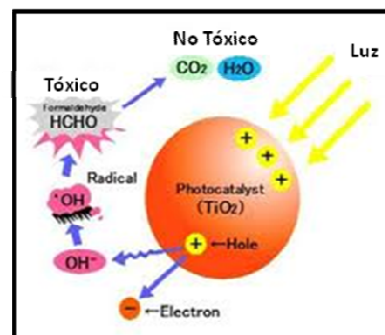


Figure 7. Principio de funcionamiento de nanopartículas de dióxido de titanio, para la descomposición de agentes tóxicos, presentes en aguas para el consumo humano.

Otro ejemplo de sumo interés es el de los materiales cromogénicos. Las propiedades ópticas y térmicas pueden fluctuar con el tiempo, como respuesta a cambios climáticos (por ejemplo, variaciones en la temperatura ambiente y la radiación solar). Tal es el caso de las pinturas "frías", las cuales presentan una alta reflectancia a la radiación solar. Esto permite que las superficies, cubiertas por este tipo de material, se mantengan frías. Estas pinturas suelen emplearse como agentes de recubrimiento, en techos. Esta propiedad se logra combinando nano y micro pigmentos, así como agentes de ensamble, que funcionen como nexo entre las partes.

Por su parte, las ventanas inteligentes están constituidas de nanocapas de algún metal, como ser plata o níquel, y funcionan de la siguiente manera: transmiten la luz visible y reflejan la radiación del infrarrojo cercano. De esta manera, funcionan como una ventana estándar, en lo que a visibilidad se refiere, pero evitan un incremento en la temperatura ambiente.

Estos dos últimos casos se ajustan al marco de las tecnologías verdes - antes citadas - teniendo en cuenta que promueven la reducción del consumo energético, que demandaría el uso de equipos eléctricos para refrigerar ambientes.

Todos estos ejemplos citados son prueba de una fuerte apuesta al involucramiento de la nanotecnología en el desarrollo de soluciones sustentables para el medio ambiente. La carta de opciones, en lo que a aplicaciones se refiere, es muy vasta, cubriendo un amplio espectro de áreas, como ser ambiente, electrónica, cosmética,

salud, textil, alimentos, entre otras. Sin embargo, todas ellas guardan un común denominador: la necesidad de realizar, en paralelo, estudios de toxicidad de los materiales a emplear, de modo tal de fijar las condiciones y restricciones de uso de los mismos, en aquellos casos en los que corresponda.

Un mundo basado en un modelo de tecnologías verdes, con una fuerte impronta nanotecnológica, resulta una propuesta atractiva, desde todo punto de vista: político, económico y social. Todo pareciera indicar que el desafío central para la ciencia y la tecnología, en este nuevo siglo encaminado, será alcanzar esa meta, alimentarla y hacerla sostenible en el tiempo.

Referencias.

[1] "Nanotechnology and the environment"; K. Sellers, C. Mackay, L. Bergeson, S. Clough, M. Hoyt, J. Chen, K. Henry, J. Hanble. CRC Press - 2009.

[2] "The handbook of nanotechnology - Business, policy and intellectual property law "; J. C. Miller, R. Serrato, J. M. Represas-Cardenas, G. Kundahl. John Wiley & Sons, Inc. - 2005.

[3] "Nanotechnology: remediation technologies to clean up environmental pollutants", *Research Journal of Chemical Science*, **2012**, 2 (2), 90-96.

[4] "Nanomaterials-based sensors for applications in environmental monitoring", *Journal of Materials Chemistry*, **2012**, 22, 18101-18110.

[5] "Green nanotechnology", G. B. Smith, *Proc. of SPIE*, **8104**, 810402-1/13.

[6] "Overviwe of nanomaterials for cleaning up the environment", Science for environmental policy, European Commission DG, Environment News Alert Service, edited by SCU, The University of the West of England, Bristol.