

Este ejemplar fue editado por el programa Leé Ciencia. Leé Futuro, una iniciativa del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación que se propone acercar lecturas de ciencia a niños, niñas, adolescentes y jóvenes como un modo de garantizar el acceso a la cultura científica.



¿Qué es la Nanotecnología?

La nanotecnología o, mejor dicho, las numerosas nanotecnologías, en conjunto, que existen, constituyen un mundo nuevo y fascinante, que ya está entre nosotros. Se meten por todos lados: en nuestros autos, nuestra ropa, los deportes, los alimentos, nuestra salud y el medio ambiente. Vivimos rodeados de nanotecnologías, aunque no lo sepamos. En los próximos cien años, las nanotecnologías van a cambiar el mundo: nos van a curar, dar energía, alimentar y mejorar nuestro medio ambiente. Nuestros hijos y nietos las van a disfrutar más que nosotros, las van a considerar moneda corriente. Las nanotecnologías son centrales para nuestra civilización actual, y la base de su desarrollo futuro.

Las nanotecnologías se basan en nuestra capacidad, desarrollada en los últimos veinte o treinta años, de diseñar, fabricar, ver, controlar y ensamblar nanomateriales. Los nanomateriales son materiales como los que conocemos y utilizamos todos los días (metales, cerámicos, vidrios, polímeros) pero de dimensiones reducidas a algunos nanómetros. Y el nanómetro es algo capital en este asunto. Aunque un nanómetro (nm) sea, simplemente, una unidad de medida. Así como un centímetro es cien veces menor que un metro, un nanómetro es mil millones de veces más chico que un metro. Es decir, un nanómetro es 0,000000001. Nuestra vida diaria se desarrolla en el ámbito de los metros, así que tenemos que acostumbrarnos a esta pequeña unidad.

Para tener una idea de la diferencia de escalas, la diferencia relativa de tamaño entre un científico y la nanopartícula que está fabricando o manipulando es la misma que entre el tamaño de nuestro planeta y el de una aceituna: unos nueve órdenes de magnitud. Hace poco más de sesenta años, en 1959, Richard Feynman, Premio Nobel de Física 1975 y uno de los más grandes científicos del siglo XX, hizo una pregunta provocadora: "¿Por qué no podemos escribir los 24 volúmenes de la Enciclopedia Británica sobre la cabeza de un alfiler?" Feynman concluyó que para poder imprimir todo en ese tamaño tan pequeño, cada "pixel" de la enciclopedia tendría que tener unos 8 nm de diámetro. Y que cada uno de esos píxeles contendría aún unos mil átomos.

Explorar el nanomundo es comenzar a dejar el mundo que nos han enseñado, y al que estamos acostumbrados, para sumergirnos en lo nuevo, para ver cómo funcionan otras leyes de la naturaleza, que son las que predominan en la nanoescala. Son leyes cuyas grandes líneas ya conocemos, no

hay que preocuparse. Lo que sí conviene es tomar conciencia de los resultados extraordinarios que se obtienen cuando comprendemos las leyes que rigen la materia a escala microscópica. Básicamente, aplicando esas leyes y nuestro conocimiento sobre la materia, podemos cambiar el mundo de una manera sorprendente.

Desde nuestro primer curso de Ciencias Naturales nos han enseñado que las propiedades de la materia dependen de su naturaleza. Se trata de las famosas propiedades intensivas, que no dependen del tamaño del sistema, y que son inmutables para cada sustancia: sus puntos de fusión y de ebullición, su conductividad eléctrica, su color y muchas otras. Nos habituamos entonces a vincular esas propiedades con la estructura de la materia. Cuando aprendemos un poco de física o química, comprendemos que la estructura de la materia implica la composición atómica y la estructura espacial que esos átomos adoptan. Nos enseñan las moléculas, y su estructura, y sus puntos de fusión y ebullición, que dependen de sus formas y de las interacciones entre ellas.

Por ejemplo, el oro es un metal, dorado, que conduce el calor y la corriente, y que funde a más de 1000°C. Uno puede tomar un cablecito de oro, cortarlo en pedazos o limaduras, y sus propiedades intensivas no cambiarán: el oro es tan dorado y conductor como antes. Nos lo enseñan así desde siempre: las propiedades de los materiales no dependen del tamaño del objeto. Y acá viene un giro maravilloso. Cuando se trata de nanomateriales, cuyos tamaños son del orden de los nanómetros, las propiedades intensivas sí cambian. Y no solo eso: cambian según su tamaño y su forma. Esto provoca una revolución muy profunda en nuestros conocimientos. El caso del oro es un buen ejemplo. Imaginemos que podemos construir piezas de oro muy chiquititas, digamos de 5 nm de diámetro. Nuestro "nanooro" de 5 nm es rojo, ya no conduce tan bien la corriente y ¡fundes a 900°C! Más aún si fabricamos oro de 20 nm, estas partículas son de un intenso color violeta, y si las partículas son alargadas y de 100 nm, ¡son verdes! Y todas tienen propiedades diferentes, que dependen de su tamaño y de su forma. ¿Se nos quemarán los libros? No, la materia se comporta así.

¿Qué es un nanómetro?

El nanómetro es lo que determina las nanotecnologías. Viajemos hacia abajo, al nanomundo. Nuestra escala de longitudes habitual es el metro así que será un largo viaje. Imaginemos que nos achicamos mil veces: estamos en la

escala del milímetro (103m, escrito en notación científica), el tamaño habitual de los insectos. Si nos reducimos mil veces más, llegamos a la escala del micrón, micra o micrómetro (106m), escala típica de las células, granos de polen y bacterias. Pero tenemos que reducir mil veces más nuestro tamaño, es decir, un total de mil millones de veces, para llegar al nanómetro (109m). Esta es una pequeña unidad de medida. Aún así los átomos son menores que un nanómetro y sus medidas están típicamente en angstroms (Å); 10 Å forman un nanómetro.

En esta escala, ocurren dos cosas importantes: por un lado, empiezan a manifestarse propiedades del mundo atómico-molecular; por otro, comienzan a predominar fuerzas que en nuestro mundo cotidiano no vemos, como las interacciones entre átomos, moléculas, superficies.

Átomos, electrones y moléculas

Los átomos son los bloques de construcción de nuestro universo, y todos sabemos que existe una relación entre la estructura atómico-molecular de la materia con sus propiedades. Los átomos tienen una anatomía relativamente simple; más del 99,99% de su masa está concentrada en el núcleo atómico, una región densa, que ocupa una cienmilésima parte del volumen de cada átomo. El núcleo está compuesto por protones y neutrones; los protones tienen carga positiva, y le dan su identidad química al átomo, lo que llamamos número atómico. Un núcleo con un protón, y tenemos un átomo de hidrógeno; dos protones, y el átomo es de helio. El carbono tiene seis protones; el oxígeno, ocho, y así sucesivamente se forma toda la tabla periódica. Los neutrones, a efectos prácticos, cumplen el rol de cohesionar el núcleo. El núcleo está cargado positivamente, y está rodeado por electrones, mucho más pequeños que los protones y neutrones, y de carga negativa. Un átomo es eléctricamente neutro, por lo que hay igual número de protones que de electrones. Si hay un exceso de protones o de electrones, tendremos un ion, es decir, un átomo con carga positiva o negativa, respectivamente. Los electrones se sienten atraídos por el núcleo, pero se repelen entre ellos. De sus interacciones con el núcleo, y con los núcleos y electrones vecinos, dependen las propiedades físicas y químicas de cualquier sustancia.

Materiales

En nuestra vida cotidiana, los materiales son generalmente sólidos: los metales, la madera, el vidrio, las fibras que forman parte de nuestra ropa. Todos estos materiales están formados también por colecciones de átomos, que se encuentran organizados en sistemas extendidos en el espacio. ¿Qué diferencia hay entre las moléculas y los materiales? La más importante es el tamaño: los materiales son grandes colecciones de átomos, que a menudo forman complejas estructuras. Para tener una idea, una humilde molécula de agua tiene tres átomos; un cablecito de cobre de unos pocos gramos de peso está formado por unos 10^{20} átomos (100.000.000.000.000.000.000), ¡muchos más que todas las estrellas de nuestra galaxia! En consecuencia las propiedades de los materiales tienen que ver con la coexistencia de todos estos átomos, y de cómo se define la estructura de sustancias que tienen tantos electrones. En los materiales, los electrones también tienen estados de energía, pero a diferencia de las moléculas, son colectivos, y muy cercanos en energía. Los electrones de un material en general tienen la posibilidad de deslocalizarse, y por decirlo de alguna manera, estar presentes en todo el material.

Los efectos nano

Si bien los efectos de la nanoestructura dependen del material y de la forma, comienzan a verse cambios típicamente por debajo de los 100 nm, y muy marcadamente por debajo de los 10 nm. Para tener un comportamiento típico de un nanomaterial basta con que al menos una de sus dimensiones sea nanométrica. Las características más importantes de nanoescala pueden resumirse en dos aspectos:

- un efecto asociado a los cambios en la estructura electrónica, vinculados a la mecánica cuántica, y la dependencia de las propiedades electrónicas al tamaño y la forma;
- un tipo de efecto relativamente continuo, que tiene que ver con el rol de la superficie.

Lo primero que cambia en un nanomaterial con respecto a un material "grande", es la distribución de sus electrones, que están confinados en un pequeño espacio. Un nanomaterial está en una posición intermedia entre las moléculas y los materiales extendidos. Sin adentrarnos en detalles, su estructura electrónica (y por lo tanto sus propiedades) depende del número de

átomos, es decir, del tamaño. Tamaños chicos llevan a estados localizados, cuyas energías dependen mucho de la conectividad, y de cuantos átomos se comunican. Tamaños grandes llevan a que el material se parezca a un sólido, con estados electrónicos deslocalizados en bandas.

Resumiendo, en un nanomaterial, la localización y disponibilidad de los electrones depende de la cantidad de átomos, es decir del tamaño. Eso trae consecuencias en su conductividad, su color y su magnetismo.

Un nuevo paradigma

El de las nanotecnologías es un nuevo paradigma, ni más ni menos. Antes de las nanotecnologías, teníamos una concepción relativamente rígida, según la cual las relaciones estructura-propiedad de la materia eran unívocas, y por así decirlo, casi sagradas. El hecho de que las propiedades de los nanomateriales dependan de la estructura del material, pero también de su tamaño y de su forma, es equivalente a abrir un espacio nuevo, dar múltiples opciones a una ruta que era lineal. Por eso puede hablarse de revolución. Una revolución que simplemente tiene en cuenta que la materia en esa particular escala tiene un comportamiento parecido a la materia molecular, con sus interacciones y sus leyes, a caballo entre el mundo microscópico y el macroscópico. Los nanomateriales se portan, en suma, como grandes y complejas moléculas, cuyo comportamiento, una vez que uno sintoniza esa frecuencia, es relativamente fácil de comprender.

Vista en ese contexto, la nanotecnología parece simple: fabricar o confinar objetos o moléculas en la escala del nanómetro, y aprovechar las nuevas propiedades que surgen. Como veremos, este es un concepto muy poderoso, y lleva a un mundo inmenso, un universo propio. Las nanotecnologías entran en todas las tecnologías que el ser humano desarrolla actualmente. Y el futuro viene aún mejor: existen potencialidades enormes para cambiar el mundo en diversos aspectos: en medicina (“nanonaves” que exploran y curan nuestro cuerpo), electrónica (microprocesadores más rápidos), nuevas energías (solar, del hidrógeno, biomasa, etc.) y medio ambiente (sensado, descontaminación y destrucción de contaminantes), entre otras. Hoy en día, las nanotecnologías están presentes en todos lados: en los procesadores y discos rígidos, en los alimentos, en los neumáticos ecológicos, y en la raqueta de Juan Martín Del Potro. Más aún, la nanotecnología aparece en muchos fenómenos de la naturaleza, y en sus materiales: los huesos, los caparazones, la superficie de las hojas, los poros biológicos. Estamos descubriendo cada vez más y más nanosistemas naturales, y aprendiendo a imitarlos, para obtener propiedades impensadas. Y este es solo el comienzo.

Sobre el autor

El primer contacto de **Galo Soler Illia** con la química fue cuando quemó la mesa del comedor de su casa a los seis años haciendo un experimento. Luego obtuvo una licenciatura y doctorado en Química en la Universidad de Buenos Aires y un posdoctorado en la Universidad Pierre-et-Marie-Curie (París). Ha publicado más de 200 artículos y ha presentado cinco patentes. Coordina proyectos nacionales e internacionales con socios académicos e industriales. Fundó y dirigió el grupo Química de Nanomateriales de la CNEA (2003-2015), y el Instituto de Nanosistemas de la UNSAM (2015 a la actualidad). Es profesor en UNSAM y UBA. Ha sido elegido Académico por la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y por la Academia de Ciencias de América Latina.

Recibió varios premios nacionales: Premio Houssay a investigadores jóvenes (2006 y 2009), Konex de Platino (2013), Gran Premio Innovar (2016) y Premio Bunge & Born en el área Nanociencias (2022).

Su trabajo de investigación se centra en el desarrollo de métodos químicos para diseñar y producir nanosistemas con comportamiento inteligente, con aplicaciones en salud, medio ambiente y energías renovables.