



 Universidad
Nacional
de Quilmes

Nanotecnología *en debate*



Índice

<i>Una introducción: ¿qué es este cuaderno?</i>	4
<i>El tamaño importa</i>	5
<i>La biblioteca en la cabeza de un alfiler</i>	6
<i>El exótico mundo de los átomos</i>	7
<i>Para verte mejor...</i>	8
<i>Ahora los fármacos llegan por delivery</i>	9
<i>La estrategia de la llave y la cerradura</i>	10
<i>Ni blancos ni negros: los grises de las nanotecnologías</i>	11
<i>Nanotecnología, un final abierto</i>	12
<i>Miní diccionario sobre nanociencias y nanotecnología</i>	13



Producción

Verónica Engler, Pablo Esteban y Celeste Mottessi.

Edición

Pablo Esteban, Celeste Mottessi y María Eugenia Fazio.

Diseño e ilustración

Pamela Sánchez Uriarte

Universidad Nacional de Quilmes**Rector**

Alejandro Villar

Vicerrector

Alfredo Alfonso

Directora General de Comunicación

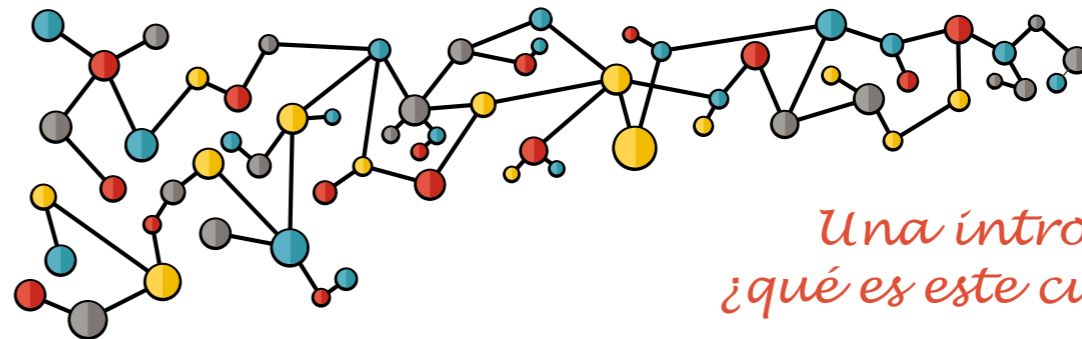
Leticia Spinelli

Colección

**Ciencia y Sociedad en Debate
de la Universidad Nacional de Quilmes.**

Esta colección está inspirada en el libro “Transgénicos en debate” (2007), escrito y producido por Luisa Massarani y Flávia Natércia, como resultado de un proyecto de investigación de la Fundación Oswaldo Cruz, financiado por el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (IDRC, por sus siglas en inglés).

Los realizadores de este cuaderno agradecen muy especialmente las contribuciones y correcciones realizadas por la Dra. Eder Lilia Romero, investigadora CONICET y Directora del Programa Nanomedicinas de la UNQ.



Una introducción: ¿qué es este cuaderno?

El mundo cotidiano suele tener algunas características más o menos previsibles: el sol “aparece” por el este y se “oculta” por el oeste, la sal sala, el azúcar endulza, cuando la pelota de tenis pega en el frontón rebota en lugar de traspasar al otro lado de la pared, y cuando saltamos caemos hacia el piso y no hacia el cielo, por ejemplo. Este escenario de lo conocido es el que podemos captar mediante nuestros entrenados sentidos: vemos, olemos, tocamos, degustamos. Pero cuando nos adentramos en lo profundo de la materia, las cosas cambian un poco. ¿Qué tan profundo? Supongamos que tenemos un milímetro y lo dividimos por mil, lo que obtenemos es un nanómetro, una medida que delimita el universo de lo “nano”. Las nanociencias y las nanotecnologías trabajan en esa escala.

¿El mundo nano es el más pequeño? No, para nada. De hecho en un nanómetro caben, una al lado de la otra, tres moléculas de agua o diez átomos de hidrógeno. Quienes trabajan en química, física o biología molecular están acostumbrados a lidiar todos los días con esta escala de longitud especial y con las fuerzas que predominan en ella. Inclusive, los científicos nucleares trabajan con fenómenos que tienen lugar en los núcleos atómicos, cientos de miles de veces más pequeños que los átomos.

En realidad el universo nano se encuentra entre dos escalas conocidas: la atómico-molecular y la microscópica. Pero este territorio “intermedio” era, hasta hace poco, relativamente desconocido. Desde hace algunas décadas, lo que se sabe y lo que se produce en esta área de conocimiento es cada vez más: existen nuevas formas de administrar fármacos (para hacerlos más precisos y menos dañinos), nuevos materiales (más resistentes a condiciones extremas) y nuevas maneras de remediar el medioambiente, entre otros.

En la actualidad, las nanociencias y las nanotecnologías participan de todas y cada una de nuestras rutinas: están en el catalizador del auto, en los plásticos reforzados (como los Tupperware), en las computadoras (y todos sus accesorios), en el detector electrónico que utilizan las personas diabéticas para medir su glucosa, y hasta en el test de embarazo de uso doméstico.

El presente material se propone introducir a los lectores en los novedosos quehaceres de las nanociencias y las nanotecnologías, en sus promisorios avances y también en los temores que estos pueden despertar.

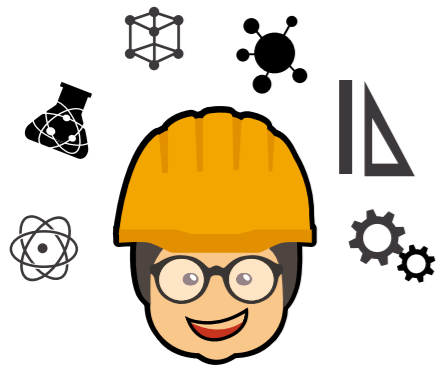
Este cuaderno, inspirado en la publicación Transgénicos en debate de la Fundación Oswaldo Cruz (Brasil), forma parte de la serie Ciencia y Sociedad en Debate de la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ).

El tamaño importa

Las nanociencias y las nanotecnologías modifican nuestro modo de comprender la naturaleza. Sin embargo, vale aclarar que no son campos exclusivos de un saber particular sino que atraviesan diferentes áreas de conocimiento como la biología, la química, la física, la medicina y la ingeniería, entre otras.

Resulta difícil determinar dónde empieza y dónde termina el universo de las nanociencias y las nanotecnologías. Algunos sostienen que va desde 1 nanómetro (nm) hasta 100 nm; otros plantean que el límite podría extenderse hasta 500 nm. La definición de qué es y qué no es “nano” depende de que los materiales exhiban nuevas propiedades basadas en la ocurrencia de nuevos fenómenos cuánticos y biológicos relacionados con el tamaño. Y, desde algunas perspectivas, la definición también depende de los intereses, fines y recursos políticos y económicos de cada país.

Una cuestión relevante para quienes estudian y trabajan en este ámbito de lo diminuto es que en la escala nano las propiedades de los materiales son diferentes: puede cambiar el punto de fusión, el color o la conductividad eléctrica. Por ejemplo, a nivel nano el metal de cobre es transparente y el oro (que normalmente no es reactivo) deviene químicamente muy activo; del mismo modo que el carbono, que es bastante blando en el nivel macro (como el grafito, que se utiliza para las minas de lápices), se convierte en un material muy duro cuando conforma un nanotubo. Son los mismos materiales pero con diferentes propiedades debido a su tamaño y forma. Esto también se verifica con la gravedad: si bien en nuestro mundo es la fuerza más importante, en la nanoescala pierde relevancia ante fuerzas electromagnéticas entre átomos y moléculas.



Las medidas

Para comprender de qué se trata la nanoescala, se proponen algunas equivalencias en nanómetros:

- » 1 átomo mide aproximadamente 0,1 nanómetro
- » 1 molécula de DNA puede tener 2 nanómetros de diámetro
- » 1 proteína mide una longitud aproximada de 10 nanómetros
- » 1 transistor de computadora es de alrededor de 20 nanómetros
- » 1 bacteria puede alcanzar los 200 nanómetros de largo
- » El diámetro de 1 cabello humano es de 75 mil nanómetros
- » El ancho de una hoja de papel puede ser de unos 100.000 nanómetros

La biblioteca en la cabeza de un alfiler

Fue el científico japonés Norio Taniguchi quien, en 1974, pronunció por primera vez el término “nanotecnología” en la Universidad de Ciencia de Tokio. Sin embargo, todavía faltaría más de una década para que este tipo de tópicos comenzaran a nombrarse en revistas científicas de alcance internacional, como *Science* o *Nature*. El nanomundo también tiene su mito de origen en la ciencia moderna y ese hecho ocurrió antes de que Taniguchi pronunciara la palabra mágica. No se puede omitir en esta historia el nombre del físico Richard Feynman -galardonado con el premio Nobel de Física en 1965-, quien a fines de 1959 ofreció una charla en el *California Institute of Technology* (CalTech) titulada “There’s Plenty of Room at the Bottom” (Hay mucho sitio en el fondo). En esa alocución Feynman provocó a su auditorio al proponer un mundo en el que se pudieran escribir los veinticuatro tomos de la Enciclopedia Británica en la cabeza de un alfiler. Habló sobre las nuevas propiedades que emergen cuando se comienza a trabajar en un universo diminuto; subrayó las leyes de la física cuántica que rigen el comportamiento de la materia en esa escala; y, en referencia a lo nano, aventuró la existencia de un universo promisorio a punto de descubrirse. Sobre todo lo divertía imaginar todo lo que se podría crear en esas novedosas condiciones.

De cualquier manera, Feynman pasaría desapercibido hasta la década del 80, cuando el ingeniero Eric Drexler, uno de los gurúes de la nanotecnología, lo citara en su libro *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (Máquinas de Creación: El advenimiento de la Nanotecnología, 1986). Además, para esa época ya estaba listo el microscopio de efecto túnel (en inglés *Scanning Tunneling Microscope* o STM), tecnología clave para observar y manipular átomos en forma individual.

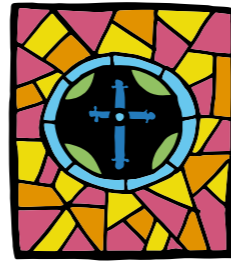
Un metal rico en propiedades



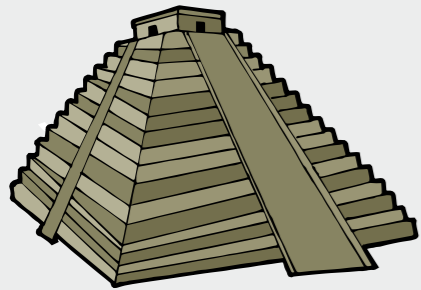
Un anillo de oro es dúctil, maleable, de color dorado, conductor de calor y electricidad, y su punto de fusión se produce a los 1063°C. Pero para una nanopartícula de oro la realidad es muy distinta. Si es de 5 nm, su color es rojo, pero si su tamaño aumenta a 20 nm se verá violeta. Su punto de fusión también se modificará si lo hace el tamaño. Las partículas de 10 nm se podrán fundir por debajo de los 1000°C; las de 5 nm, a menos de 800°C; y las de 2 o 3 nm lo harán a 400°C. Por encima de 20 nm tiende al punto de fusión del oro masivo (1063°C). Por otro lado, las nanopartículas de oro de 5 nm son las que le otorgan el color rojizo a las líneas de los tests de embarazo de uso doméstico cuando el resultado es positivo, porque detectan una hormona (la hCG) presente en la orina de la mujer embarazada.

El exótico mundo de los átomos

El gran Werner Heisenberg (premio Nobel de Física en 1932), primero en escribir las ecuaciones de la mecánica cuántica, proponía que los electrones no existen siempre sino sólo cuando alguien los mira o, mejor dicho, cuando interactúan con alguna otra cosa. Un electrón, entonces, es un conjunto de saltos de una interacción a otra. Esto nos lleva a pensar que vivimos en un mundo de acontecimientos y no de cosas. En la mecánica cuántica ningún objeto tiene una posición definida, salvo cuando tropieza con alguna otra cosa. Esos saltos con los que todo objeto pasa de una interacción a otra no se producen de un modo previsible, sino mayoritariamente al azar. No es posible prever dónde aparecerá de nuevo un electrón, solo se puede calcular la probabilidad de que aparezca aquí o allá. Por ejemplo, si lanzamos una pelota contra una pared, que funciona como una barrera, lo que sucederá es que la pelota no pasará al otro lado sino que rebotará. Si llevamos una situación similar a la escala nano, en la que un electrón se encuentra con una barrera en su recorrido (como una pared), es probable que el mismo pueda pasar a través de la barrera hacia el otro lado. A esto se lo conoce como “efecto túnel”. Y en este efecto se basa la tecnología utilizada en el microscopio de efecto túnel, que sirve para “ver” y “manipular” átomos.



Nanotecnología precolombina



El mundo nano no es una invención contemporánea, aunque hace solo algunas décadas el tema se ha vuelto una gran promesa. Ya en los vitrales de las iglesias medievales y en los frescos de las pirámides mayas hay nanopartículas que han hecho su trabajo. Los vitrales contienen nanopartículas de oro incorporados en el vidrio y es el tamaño específico de las partículas lo que crea los colores naranja, morado, rojo o verde. En el caso precolombino, lo que se formó es el “azul maya” al combinarse un pigmento vegetal (el índigo) con una arcilla natural llamada palygorskita, que tiene túneles nanométricos, “nanobolsillos” que sirven para guardar moléculas.

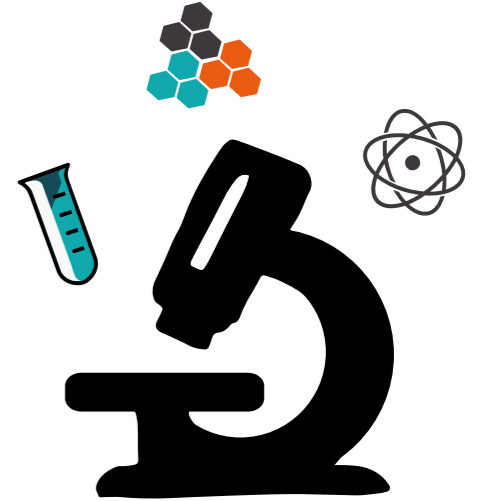
¿Había entonces nanocientíficos o nanotecnólogos que realizaban estas tareas?

No, en absoluto. En los vitrales, las nanopartículas se logran al calentar vidrios tratados con sales de oro. En el caso del azul maya, el colorante se incluye en los nanobolsillos de la arcilla; los mayas simplemente la mezclaban con el colorante y las interacciones entre la molécula y el material hacían el resto.

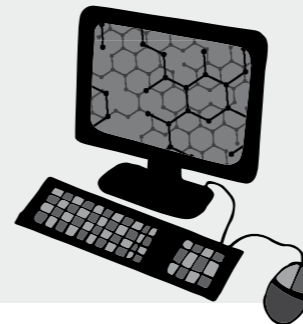
Para verte mejor...

La observación está en el origen de la mayoría de los descubrimientos científicos. El nanomundo se pudo convertir en un prometedor campo de investigación científica gracias a los avances que se han realizado en las técnicas de observación.

Cada uno de nuestros dedos mide miles de millones de nanómetros de largo, por lo que no resultará factible intentar agarrar átomos y moléculas con nuestras manos para moverlos. Sería como tratar de comer nuestro almuerzo con un tenedor de 300 kilómetros de largo. Pero “en los últimos años” se desarrollaron varias herramientas para “ver” y “manipular” en escala nano, dos de ellas fundamentales: el microscopio de fuerza atómica (AFM, por *atomic force microscopes*) y el microscopio de efecto túnel (STM, *scanning tunneling microscopes*). El AFM ha sido puesto comercialmente a disposición de los científicos desde 1990 y funciona a partir de un principio muy similar al de un gramófono clásico, en el que un “brazo” con una aguja fina se arrastra sobre una superficie. Mediante el empleo de un rayo láser es posible registrar y transformar en una imagen digital -como en el STM- las minúsculas variaciones de una muestra.



Dos caminos para llegar a Liliput

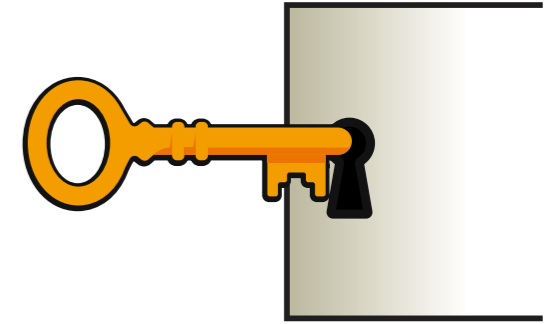
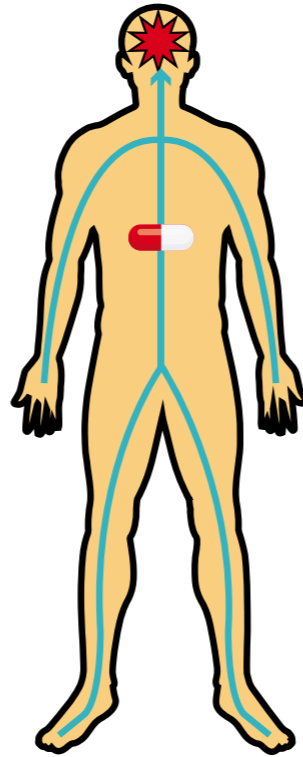


Hay dos formas de fabricar materiales en la nanoescala: de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba (*top-down* y *bottom-up*). La primera es similar a la tarea que realiza un escultor cuando esculpe sobre un bloque de mármol, primero se trabaja en una escala grande hasta que se llega al nivel nanométrico. (La industria de la computación utiliza este enfoque para crear los microprocesadores.) La segunda implica la construcción del producto átomo por átomo. Como esta manera de construir puede llevar mucho tiempo, se suele emplear un proceso de autoensamblaje que, bajo condiciones específicas, los átomos y las moléculas realizan de forma espontánea hasta lograr el producto final.

Ahora los fármacos llegan por delivery

En la actualidad, son muchas las áreas de conocimiento en las que las nanociencias y las nanotecnologías juegan un papel cada vez más relevante. En la UNQ hay laboratorios y programas dedicados a generar conocimiento sobre la aplicación de lo nano en la resolución de problemas médicos. Además, se dicta la asignatura “Nanobiotecnología” y hay una carrera de posgrado que es una Especialización Nanotecnología Aplicada a la Salud (ENAS).

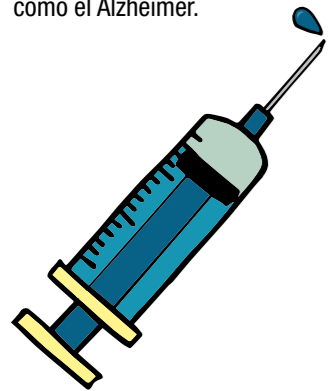
A diferencia de la medicina convencional, en las nanomedicinas las drogas no son el elemento protagonista de la terapéutica sino los nanomateriales que se emplean como sus vehículos. A partir del diseño adecuado de los nanomateriales, es posible “conducir” a las drogas a los sitios del cuerpo donde deben ejercer su acción. De este modo es posible minimizar los efectos tóxicos en sitios sanos, o conseguir efectos más pronunciados con dosis menores; así como también lograr nuevos resultados, ya que, una vez incorporadas en vehículos, las drogas pueden “viajar” hasta sitios donde nunca antes habían llegado. Estos diminutos bóridos pueden hacerse con diferentes nano estructuras como liposomas o dendrímeros, en las que se genera un “bolsillo” donde se transportan ciertas drogas. Cuanto más pequeños sean los compuestos nanotecnológicos que transportan los fármacos, más lejos podrán llegar. Por ejemplo, el cerebro es un órgano complicado de acceder, ninguna droga llega fácilmente. Pero las que van encapsuladas en dendrímeros son capaces de conquistarlo, por lo que resultan de interés para tratar enfermedades como el Alzheimer.



La estrategia de la llave y la cerradura

La manera de direccionar cada vez mejor a los compuestos nanotecnológicos que llevan la medicación a un lugar indicado es dotarlos de una “llave” que encaje en la “cerradura” específica de la célula a la que va dirigida. Por ejemplo, en el caso de un cáncer, resulta crucial que la droga pueda penetrar en las células afectadas y no en las sanas (como sucede con muchos medicamentos oncológicos, que generan efectos colaterales como la caída del cabello).

Con estrategias similares se trabaja para conseguir drogas efectivas contra infecciones endémicas en nuestro país como el Mal de Chagas y la Leishmaniasis. Se trata de enfermedades de alto costo social contra las cuales no existe medicación efectiva, ya que la disponible es muy tóxica y conduce tanto al abandono del tratamiento (Mal de Chagas) como a la hospitalización (Leishmaniasis).



Nanomedicina en agenda

Hoy en día, el campo de la medicina experimenta una revolución debido a las potencialidades que ofrece el “mundillo” nano para diseñar nuevas terapéuticas, vacunas, sistemas diagnósticos y estudios de toxicidad. Para ilustrarlo, vale de ejemplo el crecimiento exponencial que el tema ha tenido en las publicaciones científicas. De acuerdo a Scopus (una base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas), el término *nanomedicine* aparecía en tres publicaciones entre los años 1990 y 2000, durante la década siguiente la cifra ascendió a 2244, y entre 2010 y 2015 el número trepó a 5358.

Industria alimenticia

Además de transportar drogas a sitios específicos, los liposomas también pueden ser usados para fortificar con nutrientes algunos alimentos. Muchos procesos de la industria degradan las vitaminas que poseen algunos alimentos. Por ejemplo, cuando se pasteuriza la leche, la vitamina C contenida se deteriora. Pero si se la encapsula al interior de liposomas, se la puede proteger de la degradación.



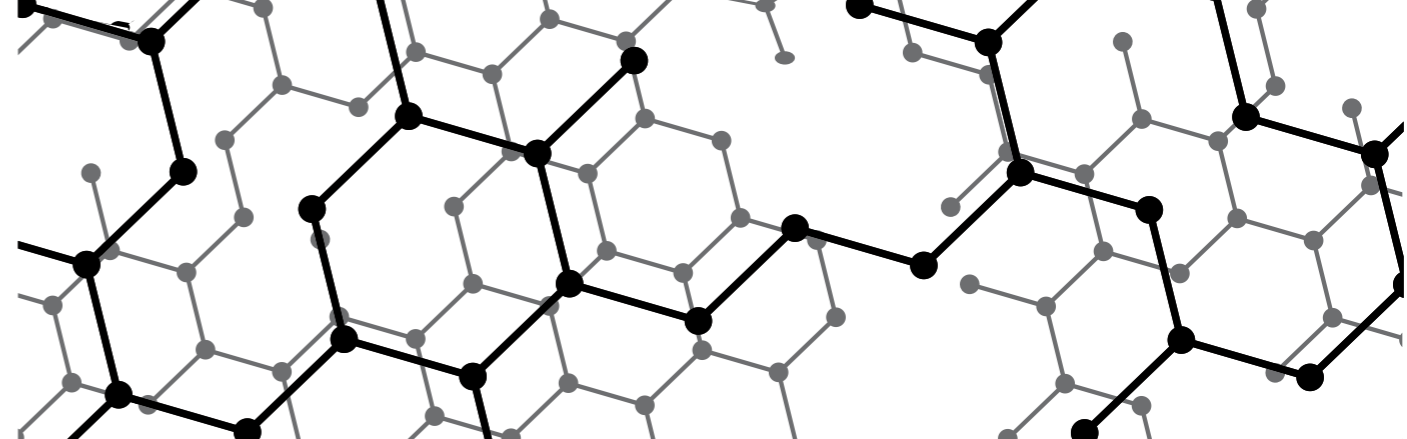
Ni blancos ni negros: los grises de las nanotecnologías

Las nanociencias y las nanotecnologías aparecen rodeadas de un aura casi mítica, llena de promesas. Pero lo cierto es que en todo el mundo hay controversias respecto a lo nano. La principal preocupación gira en torno a si los organismos y artefactos construidos a esta escala pueden ser dañinos para la vida humana o el medioambiente. Aunque no hay certezas totales al respecto, diversas instituciones consideran que pueden existir riesgos para el medioambiente y la salud asociados con la emisión no regulada de algunas nanopartículas de diseño durante el desarrollo, fabricación, incorporación, uso o eliminación de productos.

Los motivos de alerta se vinculan a los riesgos de escape de las nanopartículas y su potencial peligrosidad biológica y química para el cuerpo humano y los ecosistemas naturales. Por ejemplo, existen pinturas que, por sus propiedades bactericidas, tienen partículas de titanio o plata (el wok o cualquier otro sartén con tratamiento antiadherente). Y, dado que muchos de esos compuestos se han detectado, entre otros, en fuentes de agua, se plantea la necesidad de probar su toxicidad.

La comprensión del nanomundo abre un abanico de potencialidades e inquietudes y no escapa a la espada de doble filo del progreso y los riesgos que conlleva.

A la exigencia de organizaciones no gubernamentales, la sociedad civil y observadores internacionales para realizar más investigaciones se suman las voces de numerosas empresas, que consideran necesario intensificar los estudios sobre los efectos de la nanotecnología en materia de seguridad, toxicidad, salud y medioambiente y, en cierta medida, sobre las cuestiones éticas y políticas relacionadas con los productos de esta tecnología.



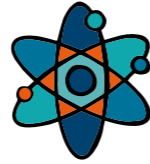
Nanotecnologías, un final abierto

Las partículas nanométricas generan fascinación entre los especialistas: la posibilidad de manipular átomo por átomo para lograr las estructuras que mejor se adapten a nuestras necesidades provoca todo tipo de fantasías. Sin embargo, todavía resta mucho por investigar en relación a las consecuencias que pueden tener estos materiales de nuestra vida cotidiana en el largo plazo. La realidad es que las nanopartículas están por todos lados, forman parte de nuestro mundo y la única forma de evitarlas sería exiliarnos en otro planeta.

Hace ya una década, en una publicación sobre nanotecnología, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) sintetizaba las perspectivas antagónicas que se vislumbraban sobre el tema: “La nanotecnología podría llegar a ser el factor más influyente que haya conocido la industria tecnológica desde el auge de Internet. Gracias a ella sería posible aumentar la velocidad de los microprocesadores de memoria, eliminar partículas contaminantes del agua y el aire o detectar más rápidamente las células cancerosas. También podría ocurrir que escapara a nuestro control y significara el fin de nuestra existencia como seres humanos”. La nanociencia y la nanotecnología, parece, podrían cambiarlo todo, para bien o para mal.

Por eso, para valorar sus aspectos éticos, jurídicos y políticos es indispensable distinguir entre las posibilidades controlables que encierra y las consecuencias imprevisibles a que puede dar lugar. Y para poder distinguir, resulta indispensable seguir investigando.

Mini diccionario sobre nanociencias y nanotecnologías



Átomo: es la unidad constituyente más pequeña de la materia que tiene las propiedades de un elemento químico. Los átomos son lo suficientemente pequeños (alrededor de la diez mil millonésima parte de un metro) como para que la física clásica resulte ineficiente a la hora de explicar y predecir mejor su comportamiento. Para ello resultan adecuados los principios cuánticos. Cada átomo se compone de un núcleo rodeado de uno o más electrones. El núcleo está compuesto de uno o más protones y en general por un número similar de neutrones. Más del 99,94 % de la masa del átomo está en el núcleo. Los protones tienen una carga eléctrica positiva, los electrones tienen una carga eléctrica negativa y los neutrones tienen ambas cargas eléctricas, haciéndolos neutros. Si el número de protones y electrones son iguales, ese átomo es eléctricamente neutro. Si un átomo tiene más o menos electrones que protones, entonces tiene una carga global negativa o positiva, respectivamente, y se denomina ion.

Autoensamblaje: es el proceso que crea las condiciones específicas en las que los átomos y las moléculas se organizan espontáneamente en un producto final. Un ejemplo de autoensamblaje es la disposición automática de fosfolípidos en una pared celular.

Dendrímero: es una macromolécula tridimensional de construcción arborescente que forma parte de los polímeros. Contiene un gran número de huecos entre las ramificaciones de su estructura, lo que le permite ser un buen vehículo para el delivery de fármacos moleculares.

Efecto túnel: es un fenómeno cuántico por el que una partícula viola los principios de la mecánica clásica penetrando una barrera de potencial o impedancia mayor que la energía cinética de la propia partícula.

Liposoma: es una vesícula esférica compuesta de una bicapa de fosfolípidos que se utiliza para suministrar fármacos o material genético en una célula.

Microscopio de Efecto Túnel (STM por sus siglas en inglés): es un instrumento para tomar imágenes de superficies a nivel atómico. Fue desarrollado en 1981 e hizo ganar a sus inventores, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer (de IBM Zürich), el Premio Nobel de Física en 1986. El STM está basado en el concepto de efecto túnel: cuando una punta conductora es colocada muy cerca de la superficie a ser examinada, una corriente de polarización (diferencia de voltaje) aplicada entre las dos puede permitir a los electrones pasar al otro lado mediante efecto túnel a través del vacío entre ellas. La información es adquirida monitoreando la corriente mientras que la posición de la punta escanea a través de la superficie, y es usualmente desplegada en forma de imagen.

Microscopio de Fuerza Atómica (AFM por sus siglas en inglés): es un instrumento mecano-óptico capaz de detectar fuerzas atómicas. Al rastrear una muestra muy pequeña, puede registrar continuamente su topografía mediante una sonda o punta afilada de forma piramidal o cónica. Este dispositivo ha sido esencial en el desarrollo de la nanotecnología, para la caracterización y visualización de muestras a dimensiones nanométricas.

Molécula: unidad mínima de una sustancia que conserva sus propiedades químicas y puede estar formada por átomos iguales o diferentes.

Nano: proviene del Latín y significa "enano". Representa una milmillonésima parte de un metro (10⁻⁹).

Nanotubos: estructuras tubulares (cilíndricas) cuyo diámetro es del tamaño del nanómetro. Existen nanotubos de muchos materiales, tales como silicio o nitruro de boro pero, generalmente, el término se aplica a los nanotubos de carbono. Los nanotubos tienen propiedades inusuales que son valiosas para la nanotecnología, la electrónica, la óptica y otros campos de la ciencia y la tecnología.

Bibliografía

AA.VV. (2014). *Nanotecnología hoy: el desafío de conocer y enseñar.* Ministerio de Educación de la Nación, Argentina.

Altube, M. J.; Selzer, S. M.; De Farias, M. A.; Portugal, R. V.; Morilla, M. J. y Romero, E. L. (2016). Surviving nebulization-induced stress: dexamethasone in pH-sensitive archaeosomes, *Nanomedicine (Lond)*, Vol. 11, N°16, agosto, págs. 2103-17. Doi: 10.2217/nmm-2016-0165. Epub 2016 Jul 28.

Booker, Richard y Boysen, Earl (2005). *Nanotechnology For Dummies.* Ed. Wiley, EE. UU.

Carrer, D.C. et al. (2014). “Structural features of ultradeformable archaeosomes for topical delivery of ovalbumin”. *Colloids Surf. B: Biointerfaces.*

Fazio, María Eugenia (2014). *Narratividad en la comunicación pública sobre Nanociencias y Nanotecnologías en diarios de España y Argentina.* Tesis de doctorado Universidad de Oviedo, España.

Feynman, Richard (1960). “There’s plenty of room at the bottom”, *Engineering and Science*, Vol. 23, N° 5, febrero, págs. 22-36.

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Argentina (2009). “Nanotecnología”, *Boletín Estadístico Tecnológico*, N°3 abril/junio.

Morilla, M. J. y Romero, E. L (2015). Nanomedicines against Chagas disease: an update on therapeutics, prophylaxis and diagnosis, *Nanomedicine (Lond)*, Vol. 10, N°5, febrero, págs. 465-481. Doi: 10.2217/nmm.14.185. Review.

Nouailhat, Alain (2008). *An Introduction to Nanosciences and Nanotechnology.* Ed. Wiley, EE. UU.

Perez, A.P.; Altube, M. J.; Schilrreff, P.; Apezteguia, G.; Celes, F. S.; Zacchino, S.; De Oliveira, C. I.; Romero, E. L. y Morilla, M. J. (2016). Topical amphotericin B in ultradeformable liposomes: Formulation, skin penetration study, antifungal and antileishmanial activity in vitro, *Colloids Surf B Biointerfaces.*, Vol. 1, 139, marzo, págs. 190-198. Doi: 10.1016/j.colsurfb.2015.12.003. Epub 2015 Dec 3.

Perrotta, Ramiro et al. (2016). “DSPC Liposomes Improve Transport of L-cysteine and Reduce Metabolic Activity”. *British Biotechnology Journal*, vol. 12.

Rovelli, Carlo (2016). *Siete breves lecciones de física.* Ed. Anagrama, Italia.

Soler Illia, Galo (2015). *Qué es la nanotecnología.* Ed. Paidós, Argentina.

Unesco (2007): *Ética y política de la nanotecnología.* División de Ética de la Ciencia y la Tecnología. Sector de Ciencias Sociales y Humanas.