

Calvo, Ernesto J. (marzo 2005). *Nanotecnología : El extraordinario mundo de lo pequeño*. En: Encrucijadas, no. 30. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires: <<http://repositorioubas.sisbi.uba.ar>>

Nanotecnología

El extraordinario mundo de lo pequeño

La nanotecnología hace referencia a la manipulación de la materia a pequeñísima escala, al nivel de los átomos y las moléculas, y tiene el potencial para cambiarlo todo: la medicina, la informática, la construcción, los alimentos, los vehículos, la generación de energía, la manufactura de tejidos y muchas cosas más que ni siquiera somos capaces de imaginar. Investigadores de numerosos países se encuentran lanzados a explorar un área del desarrollo tecnológico que hasta hace poco permanecía a oscuras y que podría transformar radicalmente el mundo que conocemos. Si bien muchas de las predicciones nanotecnológicas pueden parecer alucinaciones, se asegura que algunas de ellas se van a hacer realidad en los próximos 10 o 15 años.

Ernesto J. Calvo

INQUIMAE. Departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

“¿Por qué no podemos escribir los 24 volúmenes de la Enciclopedia Británica en la cabeza de un alfiler? Si magnificamos el diámetro de la cabeza del alfiler 25.000 veces, su área iguala a todas las páginas de la Enciclopedia Británica. Por lo tanto, todo lo que necesitamos hacer es reducir el tamaño de las cosas.

¿Podemos hacerlo?

Sí, hay mucho lugar en el fondo para hacer las cosas más chicas y no existe ninguna limitación en las leyes de la física para fabricar máquinas que a su vez fabriquen otras máquinas más pequeñas y finalmente puedan fabricar objetos del tamaño de los átomos y las moléculas.”

Esto es lo que planteó Richard Feynman en su famosa conferencia en la cena de la Sociedad Norteamericana de Física el 29 de diciembre de 1959: “There’s plenty of room at the bottom”, dando origen al concepto de Nanotecnología. En esa oportunidad, Feynman mostró cómo lo hace la biología: “Toda la información genética está contenida en una porción pequeña de la célula, una cadena de moléculas de ADN en las que se utilizan aproximadamente 50 átomos para almacenar un bit de información celular”. Albert Einstein, como parte de su trabajo de tesis doctoral, calculó el diámetro de una molécula de azúcar en aproximadamente un nanómetro, es decir la millonésima parte de un milímetro. Por lo tanto, en aproximadamente un milímetro podemos entonces acomodar un millón de moléculas de azúcar una al lado de la otra.

La nanociencia se refiere a los fenómenos que ocurren en esa pequeñísima dimensión, el nanómetro, cuya abreviatura es nm.

¿Por qué cosas tan chiquitas pueden tener interés científico y valor económico al punto de presentar un nuevo cambio de paradigma en las reglas de la tecnología y la economía global?

Podemos definir la nanociencia como la que se ocupa del estudio de objetos que, en al menos una dimensión, tienen entre 1 y 100 nanómetros. Resulta importante señalar que las propiedades físicas (electrónicas, ópticas, magnéticas, etc.) y químicas (reactividad, catálisis, etc.) de los objetos dependen fundamentalmente de su tamaño. Por ejemplo, una suspensión de nanopartículas de oro de menos de 20 nm de diámetro presenta un color rojo, mientras que una película delgada de algunos nanómetros de oro depositada sobre una superficie se ve verde, y una muestra macroscópica de oro (como un anillo) es amarilla a nuestros ojos cuando está iluminada con luz visible de longitud de onda en los cientos de nanómetros. Las propiedades de los sistemas nanoscópicos no están regidas por las leyes físicas que describen al mundo macroscópico, es decir aquel en cuyas dimensiones vivimos los seres humanos, sino por las leyes de la mecánica cuántica que se desarrollaron en el primer cuarto del siglo veinte. Sin embargo, recién en los últimos 20 años se desarrollaron herramientas como el microscopio túnel y de fuerzas atómicas, métodos de autoensamblado molecular, espectroscopías de una sola molécula, fotolitografía y litografía suave, etcétera, que permitieron manipular átomos y moléculas de a uno y estudiar sus propiedades en la nanoescala.

La nanotecnología, a su vez, se refiere a los avances tecnológicos resultantes de las propiedades (físicas, químicas y biológicas) obtenidas controlando el tamaño de sistemas comprendidos entre átomos y moléculas por un lado y los materiales macroscópicos que conocemos por el otro. Se trata de una actividad altamente interdisciplinaria donde confluyen la física, la química, la biología y la ingeniería.

El éxito de la industria electrónica en los últimos 50 años se basó en un nivel cada vez mayor de integración de componentes con dispositivos cada vez más pequeños (Primera Ley de Moore) [1] y una duplicación de la inversión de capital cada dos años (Segunda Ley de Moore). La primera ley predice un colapso de la actual tecnología basada en silicio a partir de la primera década del siglo XXI.

Hoy, el mercado mundial de productos nanotecnológicos se estima en 45.000 millones de dólares y la Nanoscience and Nanotechnology Initiative (NNI), un emprendimiento creado por el presidente de los EE.UU., Bill Clinton, estima una proyección para 2015 de un trillón de dólares. La inversión global de las agencias gubernamentales (sin contar la industria privada) superó los 3.000 millones de dólares sólo en el año 2003.

¿Cuáles serán las aplicaciones que verá el público consumidor de nanotecnología? Si bien no se sabe si la electrónica molecular (transistores de una sola molécula) se usará alguna vez en las futuras computadoras y artefactos electrónicos, a pesar de que toda la industria electrónica invierte en investigaciones sobre el tema y que ya las computadoras actuales tienen dispositivos –diodos, transistores, etc.– de entre 50 y 100 nm fabricados por técnicas relativamente convencionales de miniaturización (top down), seguramente serán las aplicaciones al diagnóstico y terapéutica médica las que se comercialicen en los próximos cinco años.

Seguramente no existirá una industria nanotecnológica dado que de la nanotecnología participan empresas de todos los sectores industriales. Ejemplos de las aplicaciones nanotecnológicas son: la liberación controlada de fármacos, la terapia fotodinámica del cáncer, las nanopartículas de semiconductores que pueden emitir luz (puntos cuánticos) para la detección específica de ciertas moléculas en células vivas, o las partículas que se utilizan actualmente en cosmética. También materiales inteligentes, por ejemplo en la

industria textil (prendas que no se ensucian o no se mojan), sensores y biosensores para medicina remota y diagnóstico de ciertas enfermedades, etc.

En particular, la incursión de los polímeros conductores, por cuyo descubrimiento se dieron los premios Nobel de química en 2000, ha permitido una electrónica de plástico para nuevas formas de análisis clínico como el "lab-on-chip", que combina en una tarjeta parecida a una tarjeta de crédito todo un laboratorio y la electrónica necesaria para medicina remota. Otra aplicación importante en el corto plazo es la aparición de una nueva generación de medicamentos en forma de nanopartículas, más pequeñas que los capilares sanguíneos, que inyectadas viajen por el torrente sanguíneo hacia el tejido que deba ser tratado.

Veremos también aplicaciones de la nanotecnología en las industrias automotriz, aeronáutica y espacial, la electrónica y de las comunicaciones, química y de los materiales, farmacéutica, biotecnológica y biomédica, de instrumentación, energía, medio ambiente y defensa. Imaginemos salir del supermercado con el changuito lleno y ya no tener la necesidad de hacer largas colas en las cajas, debido a que cada uno de los productos contará con una etiqueta electrónica inteligente que será leída por un lector que a su vez asignará su costo inmediatamente en nuestra tarjeta de crédito, o un paciente que tenga un monitoreo telefónico a través de un sistema de biosensores, o una oficina inteligente con reconocimiento de voz en los próximos años gracias a la nanotecnología. Se considera que la nanotecnología, junto con la biotecnología, serán las fuerzas revolucionarias industriales del siglo XXI como lo fueron en su momento la industria textil, el ferrocarril, el automóvil en la revolución industrial y la computadora en la de la información.

Actualmente, la inversión en una planta para fabricar chips con tecnología de silicio es del orden de 2500 millones de dólares y se estima que alcanzará 15.000 millones en 2010, por lo cual muy pocos países podrán producir esta tecnología. Sin embargo, de no producirse un cambio tecnológico las limitaciones físicas y químicas de la tecnología actual impedirán mantener el ritmo de crecimiento de la industria electrónica y, por ello, de la economía mundial. Serán entonces las leyes de la física y de la química y no las del mercado las que determinen el futuro de la economía...

Además de la industria electrónica, se desarrollarán sensores químicos y biosensores que permiten detectar la química en un dado ambiente: agua, aire, suelo, sangre, alimentos, etcétera, incluyendo narices y lenguas electrónicas para la industria del vino, el café, los aromas, etc.

Estamos aprendiendo a copiar a la biología con las herramientas de la química y la física, utilizando unidades en escala submicrométrica como ocurre en las organelas celulares (llamadas ribosomas, cloroplastos, mitocondrias, etc.), que constituyen verdaderas máquinas nanométricas altamente eficientes: ninguna planta química logra los niveles de eficiencia y síntesis limpia como la naturaleza, ninguna memoria almacena tanta información por micrómetro cúbico como el ADN, ninguna central de generación de energía logra la eficiencia de la respiración celular.

Entonces, en lugar de miniaturizar achicando cada vez mas (top down) debemos cambiar la estrategia y copiar a la naturaleza (biomimética) y de ese modo construir los dispositivos nanotecnológicos utilizando como ladrillos a las moléculas ("desde abajo" o

“bottom-up”). Esto lo podemos realizar utilizando nuevas técnicas, como el ensamble de las moléculas mediante las interacciones entre ellas como las que existen en la doble hélice del ADN y de las que depende toda la información genética que heredamos (a esto lo llamamos química supramolecular, que se basa en las interacciones entre las moléculas). En los últimos años se desarrolló una batería de técnicas para fabricar estructuras moleculares átomo por átomo o molécula por molécula. Entre ellas podemos mencionar al microscopio túnel de barrido (STM), la deposición química desde el vapor (CVD), las películas organizadas en superficies por autoensamblado molecular y por la técnica de Langmuir-Blodgett (LB), etc.

Entre los objetos nanoscópicos podemos mencionar las nanopartículas, los nanotubos, nano-hilos, puntos cuánticos, pozos cuánticos, multicapas moleculares autoorganizadas, motores moleculares, etc.

Necesitamos, entonces nuevos métodos para la nanofabricación, para caracterizar y medir las propiedades de los objetos nanométricos y herramientas de cálculo para predecir sus propiedades. De eso se trata la nanociencia y nanotecnología (N&N). Los ladrillos de la materia que son fundamentales a todas las ciencias se originan en la nanoescala.

Lego-química en la UBA

En el laboratorio de Electroquímica Molecular de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires desarrollamos un proyecto de Bioelectrónica Molecular financiado por Motorola SPS de Arizona, con aportes de la UBA, el Conicet, la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. En dicho proyecto fabricamos multicapas autorganizadas en superficies, de a una capa molecular a la vez, sumergiendo en forma alternada una superficie en líquidos que contienen biomoléculas, como enzimas y polímeros que actúan como cables moleculares para realizar el reconocimiento molecular, por ejemplo glucosa en sangre, y generación de una señal eléctrica. Una vez construidos dichos sistemas químicos autoorganizados donde cada molécula –o ladrillo molecular– es colocado en un lugar del espacio para cumplir una determinada función, estudiamos la estructura y propiedades físicas y químicas usando diversas microscopías (electrónica de transmisión y barrido, de tuneleo o STM y de fuerzas atómicas AFM) en el recientemente creado Centro de Microscopías Avanzadas en la FCEyN dentro del Proyecto Estratégico de Nanotecnología de la Universidad de Buenos Aires.

Estos dispositivos de reconocimiento de moléculas de interés biomédico, ambiental, control alimentario, etcétera serán luego llevados a tamaño nanométrico mediante el uso de nanotubos y nanohilos de oro y polianilina –un polímero conductor que puede pasar de aislador a conductor eléctrico– en transistores o llaves moleculares (ver Figura 1).

La importancia de investigar y formar recursos humanos en estas nuevas tecnologías puede ilustrarse con la iniciativa del gobierno de los Estados Unidos de Tecnologías Convergentes (Converging Technologies for Improving Human Performance, M.C. Roco, W. S. Bainbridge, National Science Foundation, 2002). “En las primeras décadas del siglo XXI se concentrarán esfuerzos para unificar las ciencias basados en la unidad de la naturaleza mediante la combinación de la nanotecnología, la biotecnología, la tecnología de la información y nuevas tecnologías basadas en la ciencia del conocimiento.”

Finalmente, no puede soslayarse la necesidad de dedicar cierto esfuerzo a la nanoética:

por ejemplo, las consecuencias de manipular y exponer al ambiente nanopartículas, nanotubos, etcétera, o la propiedad intelectual de nanotecnologías y la posibilidad del diagnóstico y cura de enfermedades en países menos desarrollados sin acceso a las nuevas tecnologías, las aplicaciones militares de la nanotecnología, etcétera.

Nota

[1] Gordon Moore, fundador de la empresa Intel, formuló en 1965 sus leyes (de mercado) que describen el crecimiento de la capacidad de memoria y lógica de las computadoras basada en una inversión creciente de la industria.