
La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso

GUADALUPE MENDOZA URIBE*
JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ-LÓPEZ**

Resumen

La nanociencia y la nanotecnología se presentan como un área nueva de investigación en el estudio de los materiales donde convergen diversas ramas del conocimiento que permiten estudiar fenómenos inéditos que ocurren a nivel atómico y molecular. La importancia de la nanotecnología radica en que en mundo nanométrico los materiales pueden adquirir o realzar propiedades diferentes a las que tienen a escala macroscópica.

Actualmente ya se encuentran algunas aplicaciones prácticas de la nanotecnología y se prevé que habrá muchas más, por lo cual es necesario evaluar el impacto que tendrían; los países desarrollados ya cuentan con programas para financiar investigaciones en este campo y, recientemente, México y otros países latinoamericanos han hecho lo propio.

En este trabajo se presenta una perspectiva general de la investigación y las aplicaciones de la nanociencia y la nanotecnología, sus conceptos principales, y una revisión general de su estatus y desarrollo en México y Latinoamérica.

Abstract

Nanoscience and nanotechnology constitute a new research area into which several fields of knowledge converge. This new discipline opens the possibility of studying phenomena on an atomic or molecular scale. The importance of nanotechnology lies in the fact that, at a nanometer scale, matter acquires or highlights properties that differ from those observed at a macroscopic level. Some practical applications of nanoscience research are happening today, and they are expected to multiply in the near future, which raise the need to assess their impact. Developed countries have established funding programs for research in this area and, recently, Latin American countries started to do the same. This work presents a general perspective on nanoscience and nanotechnology and its basic concepts, as well as a review of ongoing research in Mexico and Latin America.

Palabras clave: nanotecnología, nanociencia, interdisciplina, multidisciplinaria, jerarquización, *top-down*, *bottom-up*, impacto social.

Key words: nanotechnology, nanoscience, interdisciplinary, multidisciplinary, hierarchical structure, top-down, bottom-up, social impact.

* Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

** División de Materiales Avanzados, IPICYT, San Luis Potosí, México.

Introducción

Las grandes revoluciones tecnológicas, como la industrial del S. XVIII y la tecnológica basada en el transistor de estado sólido y los semiconductores del siglo XX, han demostrado cómo pueden cambiar de manera drástica la vida del ser humano en todos sus aspectos, y han dejado como enseñanza que las rápidas transformaciones científicas y tecnológicas requieren de otros paradigmas para educar las nuevas generaciones de estudiantes, científicos y líderes de la academia y de la industria. La nanociencia y la nanotecnología son dos, relativamente, recientes disciplinas definidas en la escala de longitud donde científicos e ingenieros de múltiples campos descubren fascinantes fenómenos y aplicaciones y nos proveen con nuevas y exquisitas herramientas para diseñar novedosos materiales y componentes en electrónica, y avances fundamentales y aplicaciones en la física, la química, la biología molecular, la medicina, el medio ambiente, las industrias químicas, las farmacéuticas, etc.

Imaginemos lo que se podría hacer si se pudiera construir objetos a la manera que trabaja la naturaleza, átomo por átomo y molécula a molécula. Solamente vislumbrar la posibilidad es fascinante. Actualmente, la investigación en ciencia de materiales nano-estructurados o nanotecnologías es un vasto y activo campo de investigación, tanto en ciencia básica como aplicada, con un alto grado de competencia académica y tecnológica.

¿Qué se quiere decir al utilizar el prefijo *nano* en nuestro léxico? En términos sencillos, *nano* es un prefijo griego que significa “enano” y al usarlo en términos y conceptos denota una amplia gama de fenómenos y objetos cuyas dimensiones son de una millonésima parte de un milímetro (1×10^{-9} mts). Hablar de objetos de esa magnitud, sólo puede referir a átomos y moléculas, un diminuto universo cuyas leyes es necesario explicar.

Pero antes se describirán brevemente las más importantes características que distinguen a la nanociencia y las nanotecnologías.

Nanociencia es el estudio de los fenómenos y la manipulación de materiales a escala nanométrica. Nanotecnología es el diseño, caracterización y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas complejos mediante el control de la forma, el tamaño y las propiedades de la materia a escala nanométrica.¹ Puesto que el término “nanotecnología” abarca un amplio rango de herramientas, técnicas y potenciales aplicaciones, algunos científicos encuentran más apropiado llamarlas nanotecnologías, y entre las disciplinas que convergen en ellas se encuentran la química, la física, la biología, la medicina y la ingeniería, entre otras.

¹ Royal Society, UK National Academy of Science and the Royal Academy of Engineering, 2004.

Como se observa, se necesitan de muchas ciencias y/o disciplinas para el estudio y utilización de nanoestructuras, es decir, que las nanotecnologías son un campo inter y multidisciplinario. Lo *multidisciplinario* describe una relación preliminar entre dos o más disciplinas, mientras que *interdisciplinario* se refiere a que los lazos entre varias disciplinas son más fuertes, se sobreponen o integran. Esta integración o intercambio de conocimientos se da en varios niveles: 1) Ninguno. Cuando no hay una comunicación efectiva. 2) Interaccional. Nivel que involucra conocimientos de otra área insuficientes para ser experto, pero bastante para comunicarse con los que sí lo son. 3) Implica a expertos que contribuyen en común a un área de investigación. La interdisciplinariedad y la multidisciplinariedad son algunas de las características más importantes de las nanotecnologías.² Otros rasgos igual de trascendentes son la “jerarquización” de los sistemas bajo estudio y el uso de las “leyes fundamentales” de las ciencias básicas como la física y la química. La primera se refiere a la complejidad estructural de los productos que se obtienen, es decir, que se podría empezar con la manipulación de átomos y moléculas para formar estructuras más simples y, mediante la combinación o utilización de éstas, alcanzar estructuras de mayor complejidad, pero sin perder de vista que para manipular estos “objetos” se requiere conocer y usar las leyes fundamentales de la física y la química, que son las leyes que los rigen.

Un poco de historia

Las referencias iniciales a la nanotecnología fueron presentadas en 1959 por el físico norteamericano Richard Feynmann en una conferencia (ahora cita obligada) titulada: *There's Plenty of Room at the Bottom*, en la cual vislumbró la posibilidad de manipular materiales a escala atómica y molecular:

[...] Las leyes de la física, hasta donde yo puedo comprender, no nos prohíben la posibilidad de manipular la naturaleza átomo por átomo... no es un intento de violar ninguna ley [...] pero en la práctica, no se ha hecho porque somos muy grandes [...] los problemas de la química y la biología pueden ser en gran parte resueltos si nuestra habilidad para ver lo que estamos haciendo y para hacer cosas a nivel atómico finalmente es desarrollada [...] un desarrollo el cual creo que finalmente no puede ser evitado [...]

² Gorman, Groves, Shrager, 2004.

El término “nanotecnología” fue usado por primera vez en 1974 por Norio Taniguchi, un investigador de la Universidad de Tokio, quien señalaba así la capacidad de manejar materiales a nivel nanométrico.³

El rango de tamaño de mayor interés para la nanociencia y las nanotecnologías es de 100 nm o menos (aunque no se trata de una división estricta) debido a que es entonces que los materiales pueden realzar sus propiedades o adquirir otras totalmente diferentes.

El ser humano, en algunos casos, ha usado las “nanotecnologías” durante siglos, por ejemplo, nanopartículas de oro y plata se han utilizado como pigmentos colorantes para cristales desde el siglo X d.C. Dependiendo de su tamaño, dichas nanopartículas pueden parecer rojas, azules o doradas. El reto de los antiguos químicos era lograr todas las nanopartículas del mismo tamaño, lo cual, aún hoy, constituye un desafío para los modernos científicos.

Conceptos fundamentales

a) Las leyes del universo nanométrico

Las leyes que rigen la materia a escala nanométrica son distintas a las de la escala macroscópica. Las reglas que permiten entender el comportamiento de este “nanouniverso” están dadas por las leyes de la mecánica cuántica, la cual determina las propiedades de la materia cuando se ubican en el rango de interés de las nanotecnologías. Algunos principios fundamentales de la mecánica cuántica son:

- Que el intercambio de energía entre átomos y partículas solo puede ocurrir en paquetes discretos llamados *cuantos de energía*.
- Que las ondas de luz, bajo determinadas condiciones, se pueden comportar como partículas (fotones).
- Que en algunas circunstancias, las partículas se pueden comportar como ondas.
- Que es imposible conocer al mismo tiempo la velocidad y la posición exacta de una partícula, cuestión que se conoce como el *Principio de Incertidumbre* de Heisenberg.

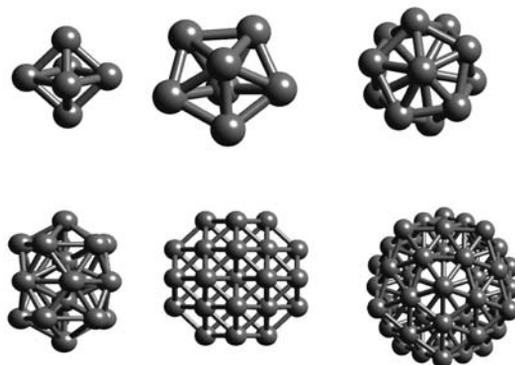
El carácter discreto de los estados electrónicos en un sistema que consta de pocas decenas a unos cuantos cientos de miles de átomos es un elemento clave para controlar

³ Serena, Correia, 2003.

las propiedades de los materiales. Los cambios de geometría y de tamaño en un sistema o la alteración de las posiciones de los componentes provocan cambios significativos en la distribución o en el número de dichos niveles y da lugar a que las propiedades que caracterizan un objeto se transformen. Este hecho es de suma importancia ya que determina cómo la materia modifica las propiedades que posee a nivel macroscópico cuando su volumen se va reduciendo.

Podemos citar algunos ejemplos que ilustran el papel de la mecánica cuántica dentro de la nanotecnología: i) los nanotubos de carbono presentan propiedades aislantes o conductoras en función de su diámetro; ii) los nanocristales de material semiconductor emiten luz de color distinto en función del tamaño de dichos cristales; iii) los “puntos cuánticos” se diseñan para poseer una estructura de niveles electrónicos modificable mediante potenciales externos; iv) agregados de átomos tanto alcalinos como metálicos en los que aparecen los llamados “números mágicos” —conocidos así porque su estructura es muy compacta, esto es, que cada átomo dentro del agregado atómico tiene un número de vecinos maximizado, lo cual está regulado por la estructura electrónica, lo que a su vez da como consecuencia que sus propiedades electrónicas sean muy diferentes a las de otros tamaños contiguos. La importancia del tratamiento cuántico de la materia en la nanoescala implica que la mecánica cuántica debe ser contemplada como materia base fundamental en los programas modernos de posgrado en nanociencia y nanotecnologías, posgrados de donde egresan los científicos encargados del estudio y diseño de futuros dispositivos y materiales de nueva generación.

Figura 1
Ejemplo de números mágicos en agregados atómicos de cobalto



Los números que se muestran corresponden a $N = 6, 7, 13, 19, 38$ y 55 .

b) Principales características de la nanociencia y las nanotecnologías: la interdisciplina, el autoensamble, la jerarquía y la realización práctica de los sistemas bajo estudio

Un ejemplo que ilustra los conceptos mencionados es el nanotubo orgánico formado con bases de ADN, y que recientemente se desarrolló en la Universidad de Purdue en EU.⁴

Para obtener tales estructuras, los investigadores crearon una unidad base hidrofóbica que posee el arreglo complementario de enlaces de hidrógeno donador-donador-aceptor (DDA) y aceptor-aceptor-donador (AAD) tomados de la guanina y la citosina, respectivamente. Al tener estos arreglos en los extremos, el único modo mediante el cual la molécula puede “reconocerse” a sí misma es formando un anillo. Después, estos anillos se autoensamblan para conformar nanotubos orgánicos.

Con otras palabras, se toman dos bases del ADN, por ejemplo, una molécula de guanina y otra de citosina; al “seccionarlas” para tener los arreglos de enlaces de hidrógeno DDA, se consigue un sistema similar a los polos de dos imanes, uno positivo y uno negativo, que al estar cerca se unen sin ninguna dificultad. Esta nueva molécula construida con dos bases de ADN seccionadas constituye lo que se conoce genéricamente como bloque constructor de la nanoestructura.

Este bloque constructor está programado (por medio de las leyes fundamentales de la física y la química) para unirse en grupos de seis miembros y formar un pequeño anillo parecido a una roseta y después combinarse con muchas de ellas para resultar en el nanotubo (con lo que se ilustra la jerarquización o complejidad gradual del sistema). En las figuras 2a y 2b puede observarse las estructuras de la guanina y la citosina antes de ser seccionadas. La figura 2c muestra los arreglos complementarios de enlaces de hidrógeno.

La obtención de dichos nanotubos necesitó de un equipo de varios tipos de científicos: químicos y biólogos que conocieran la estructura y reactividad de las bases utilizadas; ingenieros en computación que realizaran cálculos de estabilidad energética y simularan las interacciones entre los diferentes grupos funcionales utilizados —lo que ilustra el concepto de inter y multidisciplinaria pues un ingeniero como el requerido, además de los conocimientos computacionales, debió tener también un alto conocimiento en física y química, es decir, la utilización de las leyes fundamentales de las ciencias—; se necesitaron también médicos e investigadores en farmacología para determinar para qué podrían utilizarse los nanotubos, por ejemplo, para transportar medicamentos a través del cuerpo humano o como implantes, dada su alta biocompatibilidad.

⁴ Fenniri, 2001; Dagani, 2002; *Multimedia encyclopedia*.

Figura 2

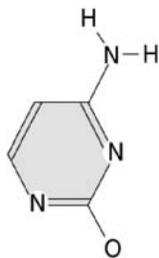


Fig. 2a

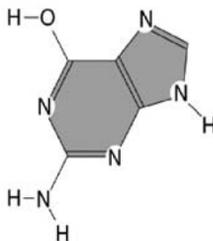


Fig. 2b



Fig. 2c

En 2a se presenta una molécula de citosina, y en 2b una de guanina. En 2c se muestra lo que se obtiene al “seccionar” por métodos químicos estas dos moléculas: lo que se conoce en términos genéricos como un bloque constructor, éste permitirá la construcción de sistemas más complejos como el de la Fig. 3.

En la Fig. 3a podemos ver la roseta obtenida al unir las dos bases del ADN modificadas (6 bloques constructores), y en la 3b se observa el autoensamblaje por medio de fuerzas electrostáticas, lo que eventualmente dará lugar al nanotubo conforme se vayan uniendo miles de rosetas (Fig. 3c).

Figura 3

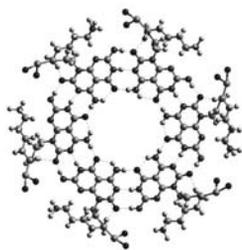


Fig. 3a

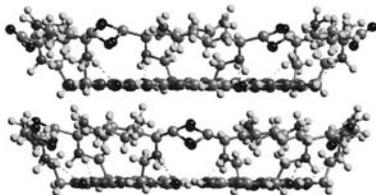


Fig. 3b



Fig. 3c

La figura 3a corresponde al segundo bloque constructor que resulta de seis bloques primarios, ilustrados en la figura 2c. Este segundo bloque constructor se conoce como roseta, el cual se autoensambla (3b) por medio de fuerzas electrostáticas para construir el nanotubo mostrado en 3c.

Estrategias naturales en nanotecnologías

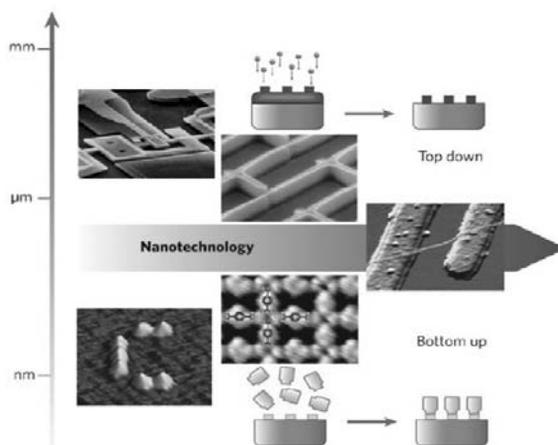
Producción de nanoestructuras

En el presente hay una cantidad enorme de investigaciones en el mundo para perfeccionar, afinar y descubrir técnicas experimentales que produzcan nanoestructuras.

Para generar materiales nanoestructurados se distinguen dos alternativas:

- 1) **Top-down** o de arriba-abajo: técnica que desarrolla las nanoestructuras “grabando” un bloque de material.
- 2) **Bottom-up** o de abajo-arriba: técnica en la que los materiales nanoestructurados se producen a partir de “nanobloques” de átomos o moléculas.

Figura 4
Formas para producir materiales nanoestructurados



Los métodos de fabricación *top-down* como la litografía, la escritura o el estampado se usan para definir las características deseadas. Las técnicas *bottom-up* usan procesos de autoensamble para obtener arquitecturas supramoleculares ordenadas o en estado sólido, a partir de la escala atómica hacia la escala mesoscópica. En la figura se muestra (de derecha a izquierda) una imagen de microscopía electrónica de un electrómetro nanomecánico conseguido mediante litografía por haz de electrones, arreglos bidimensionales de nanotubos de carbono obtenidos por impresión de microcontacto y un crecimiento catalítico; la segunda imagen es un arreglo regular metálico-orgánico nanoporoso integrado por átomos de hierro y moléculas funcionales; y la tercera imagen son siete moléculas de monóxido de carbono formando la letra 'C' y que se han posicionado con la punta de un microscopio de barrido por efecto túnel. (Ilustración tomada de <http://www.physics.ubc.ca/stm/>).

En el *top-down* se inicia con una pieza grande de material y a través de grabado o molienda se obtiene de ella una nanoestructura mediante la remoción del material; esto puede hacerse mediante técnicas de alta precisión como las litográficas que se han desarrollado durante los últimos treinta años para producir circuitos en microprocesadores y que se intenta mejorar para conseguir cada vez mayor precisión. Las técnicas *top-down* ofrecen confiabilidad y con ellas se obtienen dispositivos bastante complejos, sin embargo tienen la desventaja de requerir mucha energía y generar desperdicios, aun así con ellas se pueden fabricar *chips* para computadora, láseres, espejos de alta calidad óptica, etc.

Las técnicas *bottom-up* se refieren a la construcción de estructuras átomo por átomo o molécula por molécula, mismas que, para una mejor revisión podemos separar en tres partes:

- a) **Síntesis química.** Método para producir materias primas como moléculas o partículas, que se puedan utilizar directamente como productos o bien, para fabricar materiales más avanzados o complejos.
- b) **Autoensamble.** Técnica en la que, los átomos o moléculas se ordenan a sí mismas dentro de nanoestructuras mediante interacciones físicas y/o químicas entre las unidades básicas.

El autoensamble ha ocurrido en la naturaleza durante todo el tiempo, pues es la base de la formación de todo organismo vivo, de los cristales de sal y de los copos de nieve. Su uso en la industria es relativamente nuevo, produce pocos desperdicios y utiliza poca energía. Pero, hasta hoy, a través de esta técnica solo se pueden crear sistemas muy simples y rudimentarios, y para mejorarlos es necesario perfeccionar los conocimientos en procesos termodinámicos y cinéticos a nivel nanométrico.

- c) **Ensamble posicional.** Los átomos, moléculas o sus agregados son manipulados deliberadamente y posicionados uno por uno. Este método es extremadamente laborioso y no es conveniente como proceso industrial.

Las técnicas *bottom-up*, habría que señalar también, se utilizan para obtener productos que sirven como aditivos para cosméticos y combustibles.

Impactos sociales de las nanotecnologías

En el siglo XXI las nanotecnologías tendrán un fuerte impacto en la vida humana, al menos tan importante como el que tuvieron en el siglo XX los antibióticos, los circuitos integrados, la microelectrónica y los polímeros hechos por el hombre. Como

ya existen algunas aplicaciones de las nanotecnologías es necesario evaluar el impacto que tendrán en la sociedad.

Puesto que en la nanotecnología convergen varias disciplinas, como ya se expuso, es previsible que su efecto se perciba en muchos y variados campos, desde la ciencia de materiales hasta la electrónica, desde la computación hasta la medicina.

En la ciencia de los materiales habrá uno de los mayores impactos debido a que son indispensables para fabricar objetos útiles en la vida humana que siempre han tenido un alto valor social y económico, de lo que son ejemplos el acero y los plásticos. Las propiedades de los materiales nanoestructurados están determinadas por su estructura a escalas micro y nanométrica, por lo que una de las claves para desarrollar materiales de nueva generación es la habilidad de controlar su estructura a escalas cada vez más pequeñas.

La importancia de las nanotecnologías en este campo se da fundamentalmente por dos aspectos:

- Porque permite modificar radicalmente las propiedades de los materiales conocidos e incluso crear otros nuevos.
- Porque hace posible maquilar con extrema precisión ciertos materiales.

Las causas de que las propiedades de los nanomateriales difieran de las de otros son el incremento del área superficial y los efectos cuánticos.

Los metales nanoestructurados ofrecen una resistencia mecánica cuatro o cinco veces mayor que los metales “normales”. Actualmente ya se utilizan algunos materiales nanoestructurados en cosméticos, arcillas, recubrimientos, pinturas y herramientas de corte. Otra aplicación que también se investiga es la del nanocatalizador que ya se usa ampliamente en las industrias química, petroquímica, farmacéutica, etc.

Los procesos de catálisis, en particular, están fuertemente favorecidos por las nanotecnologías, por ejemplo:

- El diseño molecular y síntesis de materiales catalíticos nanoporosos.
- El diseño molecular y síntesis de nanofases activas en reacciones de interés para los procesos catalíticos de refinación, petroquímica y control ambiental.
- Los novedosos sistemas catalíticos para elaborar productos de química fina.

Los catalizadores nanoestructurados obtienen mayor reactividad (actividad química) que los normales, además, si se fabrican con materiales nanoestructurados, se les puede conferir propiedades catalíticas. Se prevé que en los próximos cinco años estén presentes también en celdas de combustible, baterías, aditivos para combustibles y amplio espectro de aplicaciones en el ramo de los catalizadores. Los convertidores

catalíticos de tres vías de los automóviles modernos constan de un catalizador de oxidación y otro de reducción; el de reducción está hecho de rodio y platino, mientras que el de oxidación está compuesto de platino y paladio. Hoy en día se investiga los agregados atómicos de estos metales y en algunos años más podrían utilizarse ya catalizadores nanoestructurados.

A mediano plazo (digamos 10 años) se pueden desarrollar aplicaciones en lubricantes, implantes y en la purificación de agua. Asimismo, se podrán lograr nuevos materiales poliméricos y cerámicas livianas de alta resistencia, recubrimientos superficiales de cojinetes y otras partes móviles sometidas a desgaste en los automóviles, pinturas a base de nanopartículas, etc. Las aplicaciones son múltiples y variadas.

De igual modo, en los campos de la electrónica, la optoelectrónica y las tecnologías de la información y comunicaciones las nanotecnologías comienzan a jugar un papel en la fabricación de *chips* para computadora y en dispositivos para almacenamiento de datos. En el futuro próximo también habrá microprocesadores nanoestructurados, sistemas de comunicación en bandas diez veces más anchas que las actuales, sistemas de almacenamiento informativo con dimensiones cada vez más reducidas y capacidades mil veces superiores; también se vislumbran aplicaciones en sistemas integrados de nanosensores.

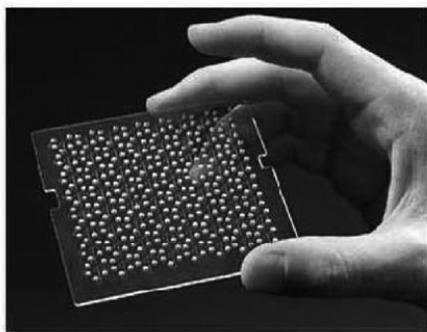
En cuanto a la medicina, el diagnóstico de enfermedades y el suministro de fármacos se investigan intensamente. Dado que en estas áreas es indispensable realizar exámenes y procedimientos de validación rigurosos, el avance no será evidente hasta dentro de 10 años aproximadamente; se puede prever que para entonces habrá algunas aplicaciones como el uso de proteínas, ADN y biopolímeros en biosensores. Actualmente está en fase de experimentación el uso de nanopartículas para curar enfermedades genéticas como la fibrosis quística. Y en la misma situación se encuentran las nanopartículas magnéticas que permitirían posicionar fármacos en sitios específicos mediante sistemas de campos magnéticos externos.

Recientemente en Alemania se experimenta comercialmente un dispositivo a escala nanométrica que realiza análisis clínicos que utilizan cantidades de muestra muy pequeñas y que suministra resultados en breve tiempo. Este *lab on a chip*, como es conocido, se está construyendo en escala micrométrica.

Las nanotecnologías también pueden ayudar a resolver problemas de contaminación y uso de fuentes de energía. Las soluciones que ofrecen pueden alinearse en dos direcciones:

- a) Mejor aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y
- b) reducción del consumo de energía y de los efectos sobre el ambiente en los procesos industriales o de transporte, entre otros.

Figura 5
Lab on a chip



A corto y mediano plazo se espera aprovechar ya películas nanoestructuradas en los sistemas de conversión de la energía solar, campo que asimismo se beneficiará de manera indirecta pues las nanotecnologías permitirán fabricar mejores materiales aislantes, más livianos y con mucha más resistencia.

La aplicación de las nanotecnologías llegará también al sector agrícola. A nivel mundial todas las empresas que dominan el negocio de los transgénicos están invirtiendo en nanotecnologías, empresas como Pfizer promueven la creación de nanocápsulas de liberación lenta que se usarán en agentes biológicos, por ejemplo, como fármacos, insecticidas, fungicidas, plaguicidas, herbicidas y fertilizantes.⁵

Posibles impactos negativos

Hasta donde se ha visto, la nanotecnología traerá grandes beneficios a la vida humana, pero se necesita revisar los efectos negativos que puedan haber; las propiedades especiales que poseen los dispositivos nanométricos y que son las que se intenta explotar (alta reactividad superficial, habilidad de cruzar membranas celulares, etc.) Tal vez traigan consigo riesgos para la salud y el medio ambiente. Algunos científicos han expresado su preocupación acerca de los efectos a largo plazo asociados con las aplicaciones médicas de las nanotecnologías y de si los materiales nanoestructurados serían biodegradables.

⁵ Ribeiro, 2004.

Que las nanopartículas sean del mismo tamaño que los componentes celulares y algunas proteínas sugiere que podrían evadir las defensas naturales del cuerpo humano y de otras especies causando daño a sus células. Al respecto se han encontrado algunos estudios con ejemplos relevantes:

- Partículas de dióxido de titanio/óxido de zinc, usadas en filtros solares, causan radicales libres en la piel, con lo que dañan el ADN.⁶
- Nanotubos en los pulmones de ratas producen respuestas tóxicas mayores que el polvo de cuarzo.⁷
- En 2004 se presentaron los primeros resultados sobre nanopartículas de oro que pueden moverse desde la madre hasta el feto a través de la placenta.⁸
- Los fullerenos causan daño al cerebro de peces y modifican las funciones de los genes.⁹

Es importante resaltar que durante siglos hemos estado expuestos a muchas nanopartículas (contaminación ambiental, personas que trabajan en determinadas industrias, por citar dos casos) sin que éstas hayan causado un daño significativo a la salud; en décadas recientes se ha sugerido, más no probado, que dichas exposiciones podrían ser responsables de las relaciones observadas entre la contaminación del aire y diversas enfermedades, particularmente las cardíacas y pulmonares.

Dado que en el presente solo se producen pequeñas cantidades de nanopartículas manufacturadas no es sorprendente la falta de información acerca de sus consecuencias en la salud y el medio ambiente. Hasta hoy la mayoría de los estudios realizados se basan en analogías con resultados de investigaciones sobre la contaminación del aire.

La nanotecnología en el mundo y en México

La nanotecnología representa la revolución tecnológica del siglo XXI, por lo que México debe estar a la vanguardia tanto en recursos humanos como tecnológicos para hacerle frente.

EU, Japón y la Unión Europea ya se han dado cuenta de la importancia de financiar la nanociencia y las nanotecnologías, por lo que han creado institutos específicamente dedicados a la investigación en estas áreas.

⁶ Dunlford, 1997.

⁷ *New Scientist*, 2003.

⁸ Vyvyan, 2003.

⁹ Eurekalert, 2004.

En la tabla siguiente se muestra el presupuesto que dichos países han destinado a las nanotecnologías durante los últimos cinco años.

Tabla 1

Región	2000	2001	2002	2003	2004
Europa*	200	225	400	650	900
Japón	245	465	720	800	900
EU	270	465	697	862	960
Otros**	110	380	550	800	900
Total	825	1 535	2 367	3 112	3 660

Todas las cantidades se expresan en millones de dólares.

*Europa: se incluyen aquí los 15 países de la Unión Europea y Suiza.

**Otros: Australia, Canadá, China, Europa del Este, Israel, Corea, Singapur, Taiwán y otros países con programas de investigación y desarrollo de nanotecnologías.¹⁰

Observemos que el apoyo destinado es importante y creciente año con año. Pero ¿cuál es la situación en los países en vías de desarrollo como el nuestro?

Países en vías de desarrollo

La investigación y desarrollo de nuevas tecnologías en los países en vías de desarrollo están sujetos a algunas situaciones clave, entre las de mayor importancia se encuentran:

- Infraestructura.
- Capacidad humana.
- Dinero.
- Derechos de propiedad intelectual.
- Educación.
- Barreras comerciales.
- Contexto político.

¹⁰ National Science Foundation, 2004.

Estas situaciones no solo afectan al desarrollo de las nanotecnologías, deficiencias preexistentes relacionadas con la biotecnología y las tecnologías de la información pueden traducirse en otras para las nanotecnologías debido a que éstas, como ya se ha explicado, son inter y multidisciplinarias.

En México existen 17 centros académicos que realizan investigación en nanociencia y nanotecnologías, principalmente en nuevas estructuras, nanopartículas, nanopelículas y polímeros nanoestructurados.

Figura 6
Instituciones que realizan investigación en nanociencia y nanotecnologías



Áreas de investigación	Centros de investigación
Nuevas estructuras	IPICYT, IPN, CIMAV, UNAM
Nanopelículas	CINVESTAV, UASLP, BUAP, CIMAV, UNAM
Polímeros nanoestructurados	CIQA, Universidad de Guanajuato, UNAM, Universidad de Guadalajara, UASLP, CINVESTAV-Qro., IMP
Nanopartículas	UNISON, UNAM, BUAP, CINVESTAV-Qro., UASLP, IPN, ICO

En el periodo 1998-2002 el presupuesto destinado por el Conacyt para investigación en nanotecnologías fue de 7,4 millones; en 2003 el fondo total para 19 instituciones fue de 12,5 millones.¹¹ La mitad de las investigaciones en nanotecnologías son realizadas por la UNAM.

En 2002, por iniciativa de varios investigadores del Instituto de Física de la UNAM, se fundó la Red de Grupos de Investigación en Nanociencia (REGINA), cuyo objetivo es promover la colaboración multidisciplinaria para generar proyectos de investigación en nanociencia optimizando el uso de recursos humanos y materiales y organizar eventos académicos para informar y difundir las investigaciones realizadas por los grupos de REGINA.

En abril de 2004, en el seno de esta institución, se propuso elaborar un proyecto nacional con las siguientes características:

- El uso de las nanotecnologías para solucionar problemas sociales (impactos sociales de las nanotecnologías).
- Ambicioso desde el punto de vista académico.
- Formación de una red que incluya tantos grupos como sea posible.
- Factible de satisfacerse a mediano plazo.
- Los resultados deben ser, tanto como sea posible, de interés industrial.

Después de investigar en varias áreas y de considerar diferentes ideas, el comité decidió que el proyecto a realizarse sería el de: “Materiales Nanoestructurados para Mejorar el Medio Ambiente”, cuyos objetivos más importantes son la disminución de contaminantes atmosféricos, la conversión de compuestos de sulfuro y halógenos y la conversión de gases de invernadero. El proyecto consta de una red de 30 investigadores de ocho entidades y cuenta con un presupuesto estimado de un millón de dólares por año.

En 2004 se generó otra iniciativa en nanotecnologías, en la cual el Conacyt, a través del CIMAV, firmó un convenio con la Universidad de Texas en Austin para la creación del Centro Internacional de Nanotecnología y Materiales Avanzados (CINMA). Este centro promueve la investigación orientada a la creación de nuevos negocios en el ámbito de las nanotecnologías. El acuerdo busca la colaboración y experimentación conjunta entre científicos e ingenieros del sistema de universidades en Texas e instituciones mexicanas de educación superior y de investigación. También se están llevando a cabo los primeros acercamientos para lograr un acuerdo similar con la Universidad del Estado de Nueva York en Albany.

¹¹ National Science Foundation, 2004.

Otro centro productor de investigación en nanotecnologías es el IPICYT, cuyo Departamento de Materiales Avanzados analiza nuevos materiales para comprender y predecir sus propiedades mecánicas y electrónicas, investigación que se realiza de forma teórica y experimental. Experimentalmente se fabrican sistemas de carbono como los nanotubos y se busca su potencial aplicación en nuevos materiales, como ejemplo de esto se puede citar el reciente resultado de haber llenado nanotubos de carbono con hierro, un metal magnético muy usado en sistemas de grabación magnética, por ejemplo, en los discos duros de las computadoras. La importancia de este hallazgo reside en que se demuestra un aumento significativo en la densidad de elementos magnetizables por unidad de área y, por lo tanto, una mayor capacidad para almacenar información.

En el aspecto teórico se realizan simulaciones de primeros principios y cálculos semiempíricos en nanosistemas (partículas, tubos, alambres, superficies, etc.) de metales de transición, metales nobles y de aleaciones, donde se estudian sus propiedades estructurales, su forma y cómo afecta el tamaño de la partícula las propiedades electrónicas, químicas, mecánicas, y magnéticas. Por ejemplo, con moléculas orgánicas e inorgánicas se investiga si la estructura, el número y tipo de elementos químicos, lo mismo que su concentración, afectan la reactividad química y sus potenciales aplicaciones en nanocatálisis. También se investigan fenómenos de transporte electrónico en sistemas semiconductores —puntos y *quantum ratchets* (potenciales cuánticos asimétricos periódicos en el tiempo y/o en el espacio).

A partir de 2002, el IPICYT organiza una reunión anual en nanociencia y nanotecnología cuyo objetivo primordial es promover y difundir la investigación mexicana en estas áreas, además de establecer vínculos entre instituciones y grupos de investigación. Otro objetivo fundamental de tal reunión es proponer ante el Conacyt un Programa Nacional de Nanociencia y Nanotecnología similar a las iniciativas de otros gobiernos descritos antes. Este programa busca incluir las siguientes acciones:

- Financiar la investigación multidisciplinaria entre grupos nacionales reconocidos internacionalmente con objetivos a largo plazo.
- Financiar de manera continua los proyectos individuales y de pequeños grupos (corto plazo).
- Detectar los centros de investigación mexicanos que puedan fungir como sedes de proyectos de nanociencias y financiarlos sustancialmente para ser centros especializados de nanociencias y nanotecnologías.
- Dedicar recursos adicionales para becas de estudiantes, técnicos y postdoctorados.
- Crear un sitio en Internet que incluya la información relacionada con el Programa Nacional de Nanociencias y Nanotecnología.

Se ha estimado que el presupuesto para dicho programa debe ser de al menos 15 millones de dólares para el primer año y para los siguientes debe incrementarse de acuerdo a sus resultados.

En la IV edición de esta reunión, celebrada en mayo pasado, se realizó el taller “Perspectivas para la Colaboración Binacional en Nanociencia”, al que acudieron representantes de 17 instituciones de investigación, junto a las academias de ciencias de México y de Estados Unidos. El objetivo principal del evento fue analizar la perspectiva general de la nanociencia en estos países para identificar posibles líneas de colaboración binacional en esta área.

Redes de financiamiento privado

Además del estímulo de los gobiernos para la nanociencia que en nuestro país se refleja en los programas de apoyo a la ciencia básica y aplicada respaldados por el Conacyt, las grandes empresas de innovación y desarrollo en electrónica, tales como Motorola, IBM, Intel, entre otras, han comenzado a colaborar con la academia para financiar proyectos de interés común, estancias de investigadores, posdoctorantes y estudiantes de posgrado en los laboratorios de alta tecnología, co-direcciones de tesis académicas, etc.

La filial de Intel en México, localizada en Guadalajara, Jalisco, presenta un amplio espectro de colaboración con instituciones académicas mexicanas (UNAM, Cinvestav, IPN, BUAP, etc.) y aunque algunos de los problemas de investigación planteados no están directamente relacionados con las nanotecnologías, es digno de mencionar esto por la filosofía que hay detrás de esta iniciativa, la que eventualmente seguirán otras compañías y abarcará otras disciplinas como las nanotecnologías. La Fundación Coca-Cola ha otorgado financiamiento a la UTEP (University of Texas at El Paso) para reforzar vínculos con universidades del norte de México a través del intercambio de estudiantes y profesores.¹²

El Centro de Investigación en Óptica resalta en su informe semestral que se han atendido 114 cotizaciones de productos y servicios a empresas del sector productivo (óptica, alimentos, plásticos, metal-mecánica, electrónica, software, pinturas y acabados, curtiduría, etc.; a instituciones de investigación y educativas, y a solicitantes particulares de servicios).¹³ Esto es un indicador de que el interés por las nuevas tecnologías lo comparten centros de investigación, universidades, empresas privadas y grandes corporaciones, pues ellos saben que su éxito se debe a la fuerte interrelación

¹² Fumec, 2004.

¹³ Centro de Comunicación Óptica, 2003.

academia-industria, además de que en sus laboratorios de investigación y desarrollo una alta cantidad de científicos se forman y/o toman experiencia. Se sabe que una relación así se ha dado en los países sede de las compañías en cuestión: EU, Japón, Holanda, Alemania, etc. Hoy en día, dicha política se fomenta de manera amplia, especialmente en etapas embrionarias, cuando incluso el mismo académico aún no tiene claro para qué pueda servir tal idea o resultado.

Un ejemplo nítido del apoyo al desarrollo de la nanociencia y las nanotecnologías es el convenio firmado en enero de 2004 entre el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE) y Motorola para establecer el Laboratorio Nacional de Nanotecnología, por el cual Motorola donó un equipo valuado en más de un millón de dólares al INAOE. Este equipo permitirá que científicos e ingenieros mexicanos diseñen y generen modelos y prototipos de circuitos integrados, detectores ópticos y sensores de estado sólido basados en silicio que tendrán aplicaciones en comunicaciones inalámbricas, en sistemas microelectrónicos y en robótica. Esta aportación es parte de la iniciativa *Latin Chip* mediante la cual la empresa transfiere propiedad intelectual, herramientas y soporte técnico a instituciones educativas y de investigación científica para impulsar el avance de la ciencia y la tecnología en América Latina.

La formación de nanocientíficos y nanotecnólogos

Otro aspecto esencial es la formación de recursos humanos en esta disciplina. México cuenta ya con posgrados enfocados a las nanotecnologías. La tabla siguiente resume estos posgrados.

Tabla 2

Institución	Programas de posgrado	Líneas de investigación
BUAP	<ul style="list-style-type: none"> –Posgrado en Ciencias (Ciencia de Materiales) –Maestría en Ingeniería Química 	<ul style="list-style-type: none"> Construcción de nuevos sistemas post combustión automotriz para la eliminación de contaminantes. Propiedades ópticas y electrónicas de superficies e interfaces de materiales. Materiales complejos e inteligentes. Nanopartículas y nanocompositos.
CIMAV	<ul style="list-style-type: none"> –Maestría y Doctorado en Ciencia de Materiales. –Maestría en Ciencia Ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> Compuestos nanoestructurados. Materiales catalíticos nanoestructurados. Nanotubos de carbón. Tamices moleculares de carbón. Síntesis de nanotubos de MoS₂.

Tabla 2 (continuación)

Institución	Programas de posgrado	Líneas de investigación
CINVESTAV	<ul style="list-style-type: none"> -Maestría en Física. -Maestría en Física Aplicada (Unidad Mérida). -Maestría y Doctorado en Ciencias con Especialidad en Materiales. -Doctorado en Ciencias Químicas. 	<p>Síntesis y caracterización de nanoestructuras semiconductoras.</p> <p>Nuevos materiales.</p> <p>Estructura electrónica de sistemas de baja dimensionalidad de metales de transición y óxidos.</p> <p>Síntesis electroquímica de monocristales de fuleruros de metales de transición.</p> <p>Desarrollo de materiales bionanoestructurados.</p> <p>Recubrimientos y compósitos nanoestructurados.</p> <p>Aleaciones Ti-Ni.</p> <p>Síntesis de materiales electrocatalizadores nanométricos.</p> <p>Reducción electrocatalítica de oxígeno con cúmulos nanométricos de metales de transición.</p> <p>Estudio de celdas de combustible con ensambles de cúmulos electrocatalizadores como cátodos.</p> <p>Pt nanométrico como ánodo.</p>
IMP	<ul style="list-style-type: none"> -Maestría y Doctorado en Ciencias o Ingeniería 	<p>Materiales y nanoestructuras.</p> <p>Ingeniería Molecular.</p>
ININ	<ul style="list-style-type: none"> -Maestría y Doctorado en Materiales (UAEM-ININ). 	<p>Desarrollo de catalizadores para la reducción catalítica selectiva de contaminantes atmosféricos y generadores de nuevos combustibles.</p> <p>Síntesis y caracterización de nanoestructuras con aplicaciones tecnológicas.</p>
IPICYT	<ul style="list-style-type: none"> -Maestría y Doctorado en Ciencias Aplicadas con opción terminal en Nanociencias y Nanotecnología 	<p>Estructura atómica de materiales complejos.</p> <p>Dinámica molecular.</p> <p>Propiedades magnéticas en sistemas de baja dimensionalidad.</p> <p>Nuevos materiales nanoestructurados.</p> <p>Propiedades magnéticas de nuevos materiales nanoestructurados.</p> <p>Transporte electrónico en sistemas de baja dimensionalidad.</p> <p>Compósitos poliméricos con nanotubos de carbón, nanotubos dopados y nanomateriales magnéticos.</p>
IPN	<ul style="list-style-type: none"> -Maestría en Ingeniería Química. -Doctorado en Ciencias en Ingeniería Química. -Maestría y Doctorado en Física. 	<p>Producción catalítica y almacenamiento de hidrógeno.</p> <p>Isomerización catalítica de alcanos.</p> <p>Procesamiento de nuevos materiales.</p> <p>Caracterización microestructural de materiales.</p> <p>Texturas cristalográficas.</p>
ITCM	<ul style="list-style-type: none"> -Maestría y Doctorado en Ingeniería Química (Catálisis y Nuevos Materiales). 	<p>Desarrollo de nuevos materiales para el hidrot ratamiento.</p> <p>Deshidrogenación oxidativa e isomerización de parafinas.</p> <p>Alquilación de compuestos aromáticos.</p>
UABC	<ul style="list-style-type: none"> -Posgrado en Ciencias e Ingeniería. 	<p>Propiedades catalíticas de sulfuros de metales de transición.</p>

Institución	Programas de posgrado	Líneas de investigación
UAM	<ul style="list-style-type: none"> –Maestría y Doctorado en Ciencias (Química). –Maestría y Doctorado en Ciencias (Ingeniería Química). –Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (Materiales y Ambiental). 	<p>Materiales catalíticos para hidrogenación selectiva y para la producción de combustibles ecológicos.</p> <p>Propiedades catalíticas de nuevos materiales.</p> <p>Nanopartículas para el control de emisiones nocivas.</p> <p>Modelación, simulación y optimización de materiales con propiedades controladas y de procesos que involucren fenómenos superficiales.</p>
UANL	<ul style="list-style-type: none"> –Maestría y Doctorado en Ingeniería Física Industrial. –Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica. –Doctorado en Ingeniería de Materiales. 	<p>Investigación de las propiedades catalíticas de las zeolitas, Nanocompuestos.</p> <p>Síntesis de materiales avanzados</p>
UASLP	<ul style="list-style-type: none"> –Maestría y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Química. –Maestría y Doctorado en Ciencias (Física). 	<p>Polímeros nanoestructurados.</p> <p>Reforzamiento de polímeros con nanoarcillas.</p> <p>Nanocompuestos, bio- y nano- tecnología por plasma: uso de plasmas fríos para la generación/modificación de micro- y nano- materiales.</p> <p>Materiales nanoestructurados.</p>
Universidad de Guanajuato	<ul style="list-style-type: none"> –Posgrado en Química –Maestría en Ingeniería Química. 	<p>Desarrollo de materiales mesoporosos modificados con titanio.</p>
UMSNH	<ul style="list-style-type: none"> –Maestría y Doctorado en Ingeniería de Procesos 	<p>Nanomateriales.</p>
UNAM	<ul style="list-style-type: none"> –Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales. –Física de Materiales. –Posgrado en Química. –Maestría y Doctorado en Ing. Química. –Posgrado en Ciencias Químicas 	<p>Preparación de nanoestructuras bimetalicas tipo fullereno de sulfuros de metales de transición.</p> <p>Desarrollo de nuevos materiales con base en cúmulos de plata y cobre estabilizados dentro de tamices moleculares y zeolitas.</p> <p>Nanocatálisis computacional.</p> <p>Síntesis de nanomateriales (nanopartículas metálicas, nanopartículas compuestas semiconductoras, óxidos metálicos).</p> <p>Funcionalización de nanotubos de carbono.</p> <p>Modificación estructural de zeolitas.</p> <p>Preparación de nanopartículas de metales nobles (Au y Ag) soportadas para aplicaciones catalíticas y de sensado.</p> <p>Nanocompuestos de matriz polimérica con polímeros de comodities y arcillas.</p> <p>Desarrollo de materiales y soportes catalíticos, óxidos simples y dopados.</p> <p>Óxidos mixtos.</p> <p>Materiales nanoestructurados.</p> <p>Ingeniería de recubrimientos y superficies.</p>

*Estos datos fueron obtenidos de las páginas web oficiales de cada institución.

Esta tabla muestra que México cuenta con el potencial académico y de recursos humanos necesario para desarrollar proyectos y aplicaciones en nanotecnologías. El Centro de Investigaciones en Óptica en León y el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Resistol son algunos otros institutos en los cuales también se realiza investigación en materiales nanoestructurados.

La nanotecnología en América Latina

La mayoría de los países latinoamericanos también se han interesado por estas nuevas disciplinas y están realizando investigaciones relacionadas con ellas; en la tabla siguiente se mencionan brevemente algunas de las investigaciones que se están llevando a cabo.

Tabla 3

País	Institución	Líneas de investigación
Argentina	Centro Atómico Constituyentes ¹	Prototipo de nariz electrónica, sensores de gas micromaqueinados, dispositivos MEMS (microsensores microelectromecánicos). Bioelectrónica molecular, proyecto financiado por Motorola.
	Universidad de Buenos Aires Facultad de Ingeniería ²	Desarrollo de aleaciones amorfas y nanoestructuras de base aluminio. Desarrollo de aleaciones nano-cuasicristalinas. Propiedades mecánicas a elevada temperatura de aleaciones de base aluminio. Comportamiento frente a la corrosión de aleaciones amorfas y nanoestructuradas de base aluminio. Aleaciones amorfas y nanoestructuradas en volumen. Desarrollo de tecnología para la obtención de productos de aleaciones amorfas y nanoestructuradas de base Al y Mg. Recubrimientos cuasicristalinos. Recubrimientos amorfos por procesamiento láser. Uniones soldadas por transición en fase líquida.
Brasil	Brazilian Center for Research in Physics ³	Biocerámicas nanoestructuradas. Biopolímeros con nanopartículas magnéticas. Nanomagnetismo.
	Instituto Nacional de Tecnología ⁴	Cerámicas nanoestructuradas.
Chile	Universidad Austral de Chile ⁵	Nanotecnología, materiales inteligentes y nuevos procedimientos de producción. (Acuerdo con la Unión Europea). Proyecto "Núcleo Científico Milenio" para la promoción de la nanotecnología.
	Universidad Católica-Facultad de Física ⁶	Conductividad Eléctrica en películas delgadas de cobre y paladio oxidadas con plasma de oxígeno. Fenómeno de sesgo magnético.
	Universidad de Chile-Centro para la Investigación Interdisciplinaria Avanzada en Ciencia de los Materiales. ⁷	Proyectos relacionados con física de la materia condensada.
Colombia	Universidad Autónoma de Occidente ⁸	Ciencia e Ingeniería de Materiales. Mecánica de sólidos. Procesos de transformación de materiales. Películas delgadas.

Tabla 3 (continuación)

País	Institución	Líneas de investigación
Colombia	Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá ⁹	Capas delgadas y recubrimientos. Cálculo de propiedades estructurales de materiales. Desarrollo de nuevos materiales. Estudio de propiedades electrónicas. Magnetismo y nuevos materiales magnéticos. Modelamiento de propiedades físicas en nuevos materiales. Películas delgadas superconductoras.
	Universidad Nacional de Bogotá–Sede Manizales ¹⁰	Estudio de propiedades fisicoquímicas de nanoestructuras porosas de aluminio. Nanocaracterización de recubrimientos de TiN y ZrN producidos por descarga de arco pulsado. Producción y caracterización de recubrimientos en multicapa de TiN/DLC/TiN/DLC en películas delgadas. Síntesis y caracterización de materiales nanoestructurados con aplicaciones catalíticas potenciales. Crecimiento por depósito electroquímico de materiales semiconductores de baja dimensionalidad del tipo II diluidos magnéticamente. Propiedades físicas de nuevos materiales magnéticos. Simulación de sistemas y fenómenos magnéticos. Síntesis de materiales nanoestructurados para aplicaciones magnéticas y en dispositivos electrónicos.
	Universidad Nacional de Bogotá–Sede Medellín ¹¹	Nuevos materiales híbridos nanoestructurados por el proceso de sol-gel. Síntesis y aplicación de materiales mesoporosos como soportes de catalizadores y absorbentes. Síntesis y caracterización de composites híbridos orgánicos-inorgánicos.
Cuba	Instituto de Cibernética, Matemática y Física ¹²	Propiedades electrónicas y ópticas de nanoestructuras y conglomerados atómicos.

1 www.secyt.gov.ar; www.secyt.gov.ar/noti_nanotecnologia2.htm

2 www.fcen.uba.ar

3 www.mct.gov.br

4 www.mct.gov.br

5 www.conicyt.cl

6 www.conicyt.cl

7 www.conicyt.cl

8 www.ascun.org.net; www.unal.edu.co

9 www.ascun.org.net; www.unal.edu.co

10 www.ascun.org.net; www.unal.edu.co

11 www.ascun.org.net; www.unal.edu.co

12 www.cuba.cu; www.icmf.inf.cu

La mayoría de estas instituciones colaboran con instituciones de otros países, por ejemplo, en noviembre de 2004, en el marco de la Reunión Ciencia, Tecnología y Sociedad, Argentina y Brasil firmaron un acuerdo de cooperación científica y tecnológica que, además de promover el intercambio y la integración, aprobó proponer a las autoridades argentinas y brasileñas la creación del Centro Binacional de Nanociencia y Nanotecnología con el objetivo de formar recursos humanos altamente especializados y la integración de grupos de investigación y redes de empresas de Argentina y Brasil a través de proyectos definidos.

Los investigadores de la Universidad de Buenos Aires tienen colaboraciones con sus similares de Brasil, España, Francia, Inglaterra, Italia y Portugal.

Por el impacto que tiene en el mundo, la nanotecnología fue declarada por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación (Argentina) como área de vacancia y se propuso crear dos redes que reúnen a 50 investigadores principales cada una y a cientos de estudiantes. En Argentina casi 300 personas se dedican a la nanociencia y las nanotecnologías.

Conclusiones

Las nanotecnologías mejorarán muchos aspectos de la vida cotidiana y ayudarán a resolver otros que no lo son tanto, como algunas enfermedades; pero ello está condicionado por el financiamiento y aceptación del gobierno y población de cada país. Esta aceptación depende de varios factores sociales: las especificaciones técnicas, las opciones que el público tenga, la política y las decisiones macroeconómicas que contribuyan al desarrollo de mayores tecnologías y resultados deseables, así como de las estructuras legales y regulatorias.

Otro punto a tomar en cuenta es que, como lo dice la experiencia, el surgimiento de una nueva tecnología se acompaña de promesas de bienestar social, reducción de la pobreza y erradicación de enfermedades, por ejemplo, la energía nuclear prometía energía abundante y barata; la revolución verde en la agricultura prometía acabar con las hambrunas: la biomedicina y la ingeniería genética prometieron la cura de muchas enfermedades, pero en la práctica se ha visto que en los últimos 50 años han aumentado la pobreza y la desigualdad en el mundo, demostrando que los avances científicos y tecnológicos se han llevado a cabo de manera desigual por lo que son ineludibles las regulaciones y convenios entre países para que aseguren que beneficios y riesgos de las nanotecnologías sean compartidos por todos.

Las nanotecnologías presentan grandes oportunidades científicas, tecnológicas y económicas para cualquier país, y para que todo esto se aproveche se debe contar con

apoyos para la investigación y desarrollo de esa disciplina, un aspecto que requiere de la fuerte participación del gobierno mexicano.

México cuenta con los recursos humanos y la infraestructura necesaria para empezar a hacer frente a esta nueva revolución tecnológica, pero, estrictamente, falta más apoyo por parte del gobierno y sus instituciones para que se alcance a plenitud la formación de más grupos interdisciplinarios y con interacción internacional, además de que se deben crear planes didácticos y posgrados que incentiven vocaciones universitarias en nanociencia, sobre todo experimentales, tanto en las instituciones de investigación como en las facultades de ciencias duras (física, biología, química, medicina, etc.), lo mismo que fomentar convenios entre instituciones educativas nacionales, del extranjero y con empresas privadas para el financiamiento de estas investigaciones.

Bibliografía

Boletín Fumec, 2004, vol. 1, núm. 4, enero, www.fumec.org.mx

Ciencia y Tecnología, 2002, www.ceramicaycristal.com.ar/P17/Ciencia.htm

Dagani, Ron, 2002, "Rosette Nanotubes. Self-assembling Structures Grow Longer in Water as the Temperature is Raised", en *Nanoscience*, vol. 80, núm. 11.
<http://pubs.acs.org/cen/topstory/8011/8011notw4.html>

Dunford, Salinaro, *et al.*, 1997, *Chemical Oxidation and DNA Damage Catalysed by Inorganic Sunscreen Ingredients*, *FEBS Letters*, vol. 418, núm. 1-2.

"Exploring Nanotechnology", en *Multimedia encyclopedia. Educational excerpts* www.nanopolis.net/subject.php?id=4343

Fenniri, 2001, "Helical Rosette Nanotubes: Design, Self-Assembly, and Characterization", en *Journal of the American Chemical Society*, núm. 123.

Feynman, Richard P., 1959, "There's Plenty of Room at the Bottom", re-impreso en *J. Electromechanical Systems*, 1(1), 60 (1992).

Gorman, Michael E., Groves, James F. y Shrager, Jeff, 2004, "Societal Dimensions of Nanotechnology as a Trading Zone: Results from a Pilot Project", en *Discovering the Nanoscale*, Amsterdam.

“How Safe is Nanotech? Special Report on Nano Pollution”, 2003, en *New Scientist*, 177 (2388).

Informe de autoevaluación del primer semestre de 2003. Centro de Comunicación Óptica, México.

International Dialogue on Responsible Research and Development of Nanotechnology, National Science Foundation, Alexandria, Virginia, United States 17-18 June 2004. <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/intldialogue.htm>

Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties, 2004, Reporte preparado por la Royal Society, the UK National Academy of Science and the Royal Academy of Engineering, julio: www.nanotec.org.uk

Questionnaire International Dialogue on Responsible R&D of Nanotechnology, National Science Foundation, 2004, USA., www.nsf.gov/crssprgm/nano/activities/mcr_04-0616_usandrespano_meridian_3.pdf

Ribeiro Silvia, 2004, “Nanotecnología: del campo a su estómago”, en *Regional Latinoamericana de la Unión Internacional de Trabajadores de la Alimentación, Agrícolas, Hoteles, Restaurantes, Tabaco y afines*. www.rel-uita.org/agricultura/agrotoxicos/nanotecnologia.htm

Serena, Pedro y Correia, Antonio, 2003, “Nanotecnología: el motor de la próxima revolución tecnológica”, en *Apuntes de Ciencia y Tecnología*, núm. 9, España.

“Type of buckyball shown to cause brain damage in fish”, en *Eurekalert*, march 28, 2004: www.eurekalert.org/pub_releases/2004-03/acs-ob031904.php

Vyvyan, Howard, 2003, *Size Matters! The Case of a Global Moratorium*, Occasional Paper Series, ETC Group.

Recibido en julio de 2006
Aceptado en septiembre de 2006