

• **Antonio Correia**

Presidente de la Fundación PHANTOMS

• **Pedro A. Serena**

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (CSIC)

– Sede del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid.



# LA NANOCIENCIA Y SUS APLICACIONES

Recientemente, la investigación en materiales de escala nanoscópica (es decir, la millonésima parte de un milímetro) ha adquirido una gran importancia. El término “Nanociencia” hace referencia al conjunto de áreas del conocimiento involucradas en el estudio de materiales con las mismas cualidades que los actuales, pero en proporciones diminutas. En este artículo se explica cómo la Nanociencia cambiará buena parte de los procesos industriales y algunos de los objetos que poblarán nuestros hogares en el futuro.

El prefijo “nano” se refiere a la posibilidad de comprender los fundamentos y propiedades de objetos (Nanociencia) y diseñar elementos o dispositivos con funciones específicas (Nanotecnología) cuyas dimensiones son de unos pocos nanómetros. Aunque ambos términos tienen su propia entidad, es el de Nanotecnología el que más ampliamente se ha usado, englobando tanto conocimientos básicos como aplicados. El nanómetro (nm) es la unidad

de longitud equivalente a la millonésima parte de un milímetro ( $1 \text{ nm} = 10^{-9}$  metros) y define las dimensiones típicas donde la Nanotecnología mostrará todo su potencial: la “nanoescala”. Se puede definir la nanoescala como la región de tamaños comprendida entre uno y cien nanómetros.

El término “Nanotecnología” fue acuñado por N. Taniguchi en 1974 para describir el conjunto de técnicas necesarias para fabricar

objetos o dispositivos con una precisión del orden de 1 nm. La Nanotecnología es una combinación de técnicas de muy diversa procedencia cuya finalidad es la investigación y desarrollo tecnológico a nivel atómico, molecular y supramolecular destinados a proporcionar entendimiento fundamental de los fenómenos y los materiales en la nanoescala y poder así crear y usar estructuras, dispositivos y sistemas con nuevas propiedades y ⇒

funciones originadas por el particular comportamiento de la materia cuando su tamaño deja de considerarse macrosópico.

### El largo camino hacia la manipulación en la “nanoescala”

El vertiginoso ritmo de miniaturización que la industria microelectrónica ha mantenido durante cuatro décadas fue ya vaticinado por G. Moore hace ahora 40 años. Sin embargo, a pesar de la capacidad demostrada por la industria para solventar problemas tecnológicos de muy diversa índole, se cree que tarde o temprano dicho ritmo no podrá mantenerse por factores tanto de tipo físico como de carácter económico. Es evidente que a medio plazo se necesitarán alternativas a la tecnología actual, que implicarán el desarrollo de métodos de producción en la nanoescala, abandonando la Microelectrónica para entrar de lleno en la era de la Nanoelectrónica. Sin embargo, trabajar en la nanoescala significa en último término la posibilidad de manipular a voluntad átomos y moléculas para construir dispositivos capaces de realizar funciones específicas.

Pero, ¿disponemos de herramientas capaces de ver y manipular la materia a escala atómica? A principios de 1980 dos investigadores de IBM, H. Rohrer y G. Binnig dieron a conocer el microscopio de efecto túnel (STM, Scanning Tunneling Microscope) que permitió por vez primera observar superficies con resolución atómica (4,5). Esta herramienta ha sido la antecesora de otro grupo de herramientas, los microscopios de proximidad (SPM, Scanning Probe Microscopy), que permiten medir

de forma precisa otras propiedades (fuerzas electrostáticas o magnéticas, intensidad luminosa, etc) en la nanoescala. Estas nuevas herramientas permiten, además, la manipulación en ciertas condiciones de la posición de átomos, moléculas y otras nanoestructuras sobre una superficie.

### Dos visiones diferentes: “top-down” versus “bottom-up”

El control de la fabricación a escala atómica y molecular precisa de nuevas tecnologías que permitan trabajar de forma fiable, precisa y reproducible en la nanoescala. Muchas de estas tecnologías se están perfilando en la actualidad en los laboratorios de investigación (la Figura 1 ilustra una de estas técnicas emergentes) y, por lo tanto, no han demostrado aún su total potencial. A su vez existe un vasto conocimiento de técnicas que han demostrado gran potencial en la microescala. Muchas de estas tecnologías son susceptibles de mejora, permitiendo su aplicación en la nanoescala. Por lo tanto, estamos en una etapa de exploración donde surgen visiones contrapuestas sobre cómo abordar la manipulación/fabricación en la nanoescala.

Por un lado existe una visión más conservadora y continuista, la llamada aproximación “top-down” (de arriba hacia abajo) en la que se intenta conseguir una mejora de los procedimientos existentes, para conseguir más y más precisión en la fabricación de los elementos que forman los dispositivos. Un ejemplo de esta forma de pensar la encontramos en la evolución de las técnicas de litografía óptica, donde se usan

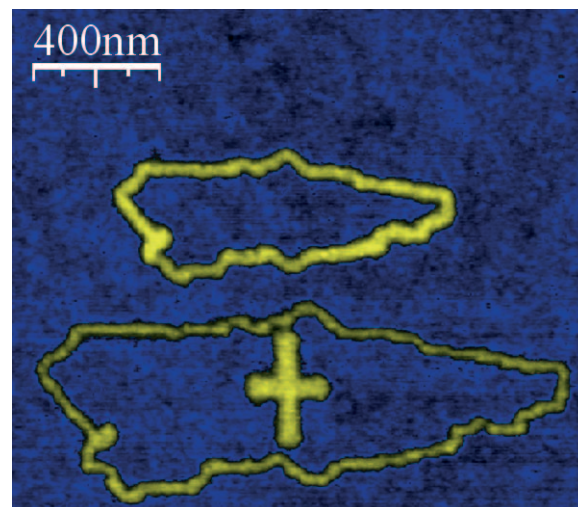


Figura 1: Nanolitografía por oxidación local de silicio (AFM). Cortesía de Pablo Ares (Nanotec S.L., España). La imagen muestra sendos perfiles de Asturias. El ancho de línea es de unas pocas decenas de nanómetros.

cada vez longitudes de onda más y más pequeñas, resolviendo de forma económicamente viable los numerosos inconvenientes que surgen.

En 1986, E. Drexler propuso construir objetos más grandes a partir de sus componentes atómicos y moleculares. Esta aproximación se conoce como “bottom-up” (de abajo hacia arriba) y es más cercana a la percepción de la Nanotecnología que un químico o un biólogo podrían tener. Esta aproximación es también consistente con la forma en la que trabajan los microscopios de proximidad (SPM), que pueden ser los antecesores de los “nanomanipuladores” que Drexler anticipó.

Se puede afirmar que cada problema tecnológico con una solución “top-down” presenta multitud de posibles aproximaciones del tipo “bottom-up”. Sin embargo serán las necesidades industriales y los ⇒

## A medio plazo se abandonará la Microelectrónica para entrar de lleno en la era de la Nanoelectrónica



→ **Figura 2:** Nanotubos de carbono ordenados sobre una superficie mediante técnicas de litografía electrónica (Cortesía Ken Teo, Universidad de Cambridge). La imagen ilustra el logotipo oficial de la edición del año 2004 de la conferencia Trends in Nanotechnology, celebrada en Segovia.

intereses comerciales los que determinen el tipo de solución apropiada en cada momento. Lo más razonable es pensar que dichas aproximaciones coexistirán en las factorías del futuro según el tipo de proceso que se necesite optimizar.

#### Impacto social de la revolución nanotecnológica

Predecir cuál será el impacto de un determinado avance científico o tecnológico es una tarea de alto riesgo. En el caso de la Nanotecnología, quizás el primer impacto haya sido el mediático. En pocos años lo 'nano' ha pasado de ser un tema inexistente a ser objeto de extensos reportajes en revistas de divulgación científica y a ser un tema ampliamente tratado en foros de Internet.

Sin embargo, cuando hablamos de implicaciones sociales, estas pasan por la capacidad de la Nanotecnología para generar aplicaciones y dispositivos que introduzcan verdaderos cambios en la forma de vida de las personas. El carácter multidisciplinar de la Nanotecnología determina

que la relación de posibles aplicaciones sea extensísima, pero se pueden enumerar algunos aspectos que describen la repercusión social de esta rama científico-técnica:

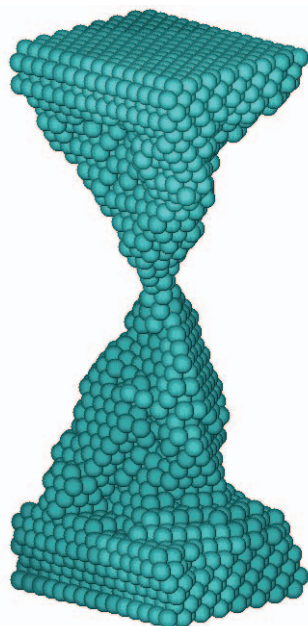
- La Nanotecnología determinará el diseño de procesos productivos eficientes, logrando ahorro considerable en materiales estratégicos. Muchos de esos procesos serán optimizados mediante el diseño de catalizadores (nanopartículas, zeolitas\*) que mejorarán el rendimiento de multitud de procesos químicos. Además, dispositivos de base nanotecnológica permitirán mejorar el filtrado de partículas contaminantes de aguas y aire. De esta manera se consolidarán métodos de producción de menor impacto medioambiental, donde se ahorren materias primas y recursos energéticos, y se controlen emisiones nocivas.
- La revolución en el sector de las Tecnologías de la Información mantendrá su vigor debido a la existencia de procesadores, memorias y periféricos más rápidos, diminutos, sofisticados y baratos. Esta

implantación masiva de nanosistemas dedicados a la adquisición, análisis y transmisión de datos seguirá profundizando la revolución que ha supuesto la llegada de la "sociedad digital". En este contexto podemos citar el uso de nanotubos de carbono como posibles elementos interconectores (metálicos o rectificadores) entre elementos activos de los circuitos. Otra de las importantes propiedades de los nanotubos es su alta capacidad de emisión de electrones. Son por lo tanto elementos que se utilizan en la fabricación de pantallas planas con ventajas frente a la de los cristales líquidos (amplio ángulo de visión, mejor brillo, etc.) (Figura 2). La empresa Motorola presentó en 2005 su primer prototipo de pantalla plana de 5 pulgadas a base de nanotubos con la expectativa de fabricar pantallas más eficientes y con un coste muy inferior al de las pantallas planas actuales. Un papel especial está reservado a las moléculas que formaran parte de los nanocircuitos debido a las propiedades electrónicas específicas con que pueden ser diseñadas. ⇒

(\*) medios porosos altamente cristalinos de poros de dimensiones moleculares

## Las expectativas de la Nanotecnología en las Ciencias Médicas son muy grandes en áreas como el diagnóstico precoz o el tratamiento de enfermedades

• La Nanotecnología se enfocará a la creación de nuevos materiales (se puede hablar de “nanomateriales”), de excelentes prestaciones mecánicas y menor peso, aunque también se podrán optimizar en ellos otras propiedades como el aislamiento térmico, la conductividad eléctrica, la funcionalidad de sus superficies, etc. Estos nuevos materiales poseerán un marcado carácter multifuncional. Entre los nanomateriales que serán desarrollados destacan aquellos dedicados al almacenamiento energético, a la fabricación de células solares más eficientes, etc. De nuevo, los nanotubos de carbono se presentan como elementos cruciales en el desarrollo de nanomateriales debido a que presentan una resistencia a tracción mejor que la del acero pero siendo mucho más ligeros. Imaginemos el impacto en las tecnologías del transporte que puede suponer la aparición de vehículos, aviones, etc. con una tercera o cuarta parte del peso de los actuales. Este tipo de vehículos permitirá alargar la vida de las escasas reservas de petróleo mientras que otras alternativas se asientan de forma definitiva. Ni que decir tiene que el proceso de modelización de nanomateriales es crucial en su estudio y desarrollo. De hecho, los investigadores poseen multitud de herramientas computacionales (muchas de ellas basadas en la Física Cuántica) capaces de simular el comportamiento de estos materiales cuando son deformados, calentados, etc. (en la Figura 3 se ilustra este aspecto con un ejemplo).



– Figura 3: Imagen de la configuración atómica de un nanocontacto de níquel durante su fractura causada por estiramiento, obtenida por técnicas de Dinámica Molecular.

• La Nanotecnología permitirá desarrollar a corto plazo “nanosensores” que se producirán de forma masiva. Estos sensores de bajo coste se incorporarán a nuestra vida cotidiana en miles de aplicaciones. Las redes de “nanosensores” permitirán un control en tiempo real de la calidad de las aguas, alimentos y de la atmósfera, podrán controlar las condiciones medioambientales en viviendas, oficinas, fábricas, etc. Los nanosensores tendrán fuerte impacto en Medicina, mejorando las técnicas de diagnóstico en tiempo real, gracias a la monitorización de decenas de variables de forma fiable, rápida y barata. Los nuevos sensores

también tendrán su aplicación en el ámbito de la seguridad, proporcionando sofisticados detectores de explosivos o amenazas biológicas.

• También relacionado con la Medicina existe una línea poderosa para construir dispositivos nanométricos capaces de liberar fármacos específicos de forma local allí donde reside el problema a tratar. Dichas “nanomáquinas” serán el producto de una combinación de sensores (de origen nanoelectrónico o biológico), estructuras donde se albergará el fármaco (bien cavidades basadas en materiales porosos, sistemas que emulen membranas celulares, etc.) y un propulsor (nanomotores basados en ejemplos que la naturaleza ya nos ofrece en bacterias, espermatozoides, etc). Hoy por hoy nos debemos contentar con la existencia de “nanodosificadores”, pero las expectativas de la Nanotecnología en las Ciencias Médicas son muy grandes en áreas como diagnóstico precoz, etc.

Como puede observarse, las implicaciones de la Nanotecnología son muchas y afectan a facetas distintas de la actividad de los seres humanos. Sin embargo, se puede destacar que muchas aplicaciones de la Nanotecnología están encaminadas hacia la mejora de la salud del ser humano, y otras hacia el planteamiento de una economía basada en un desarrollo más sostenible, optimizando recursos y disminuyendo la agresión al medio ambiente. ⇔

**Imaginemos el impacto que puede suponer en el transporte la aparición de vehículos, aviones... con una cuarta parte del peso actual. Los nanotubos presentan una resistencia mejor que la del acero pero siendo mucho más ligeros**



→ Entrega de premios de la "Trends in Nanotechnology 2004", conferencia organizada por investigadores españoles y de gran prestigio internacional.

### La financiación de la investigación en Nanotecnología

La Nanotecnología está dando sus primeros pasos fuera del laboratorio, pero presenta un potencial inmenso para la fabricación de bienes de consumo tangibles que, en muchos casos, tardarán un par de décadas en ser comercializados. Debido a su fuerte impacto económico, la Nanotecnología ha suscitado el interés de organismos, instituciones y empresas de los países más desarrollados del mundo.

Desde 1997, las inversiones en Nanotecnología han ido creciendo de manera constante. En Estados Unidos diversas agencias federales lanzaron en 1996 el plan NNI (National Nanotechnology Initiative) que ha invertido más de 2.700 millones de dólares en el periodo 1997-2003 para fomentar la investigación en Nanociencia y Nanotecnología. Además de la iniciativa federal, hay que destacar el esfuerzo comparable que llevan a cabo los distintos gobiernos estatales de los EE.UU. y las empresas como Motorola, Intel, Hewlett-Packard, IBM, etc.

Los países industrializados asiáticos han promovido desde sectores industriales y gubernamentales el desarrollo de la Nanotecnología, con inversiones similares a la de EE.UU. Como ejemplo baste decir que el esfuerzo en promoción de la Nanotecnología en Japón durante el periodo 1997-2003 ha sido de 2850 millones de dólares, superior incluso al de EE.UU. Países como Taiwán y Corea han hecho grandes esfuerzos por no perder posiciones en el control de las herramientas y conocimientos de índole nanotecnológica. China también se ha incorporado recientemente a esta carrera con un gran vigor realizando inversiones millonarias en la creación de polos universitarios-industriales dedicados a la Nanotecnología.

En Europa se ha dado un serio impulso a la Nanotecnología en el VI Programa Marco de la U.E., mediante la creación del Área temática denominada "Nanotecnologías y Nanociencias, Materiales multifuncionales y nuevos procesos de producción" (NMP) que está dotada con 1.300 millones de Euros para el periodo

2003-2006, o con la creación del Programa NID dentro del plan IST (Information Society Technologies). El auge en Europa de las iniciativas dedicadas a desarrollar y divulgar la Nanotecnología ha crecido, hasta el punto de que hoy existen casi 200 redes nacionales o regionales. En el futuro VII Programa Marco la Nanotecnología mantendrá su papel estelar como lo demuestra la creación de Plataformas Tecnológicas con una fuerte componente industrial para impulsar este desarrollo tecnológico en áreas como la Nanoelectrónica (ENIAC) o la Nanomedicina (NanoMED).

### La Nanotecnología en España: más vale tarde que nunca

Ante la ausencia de un marco institucional que impulsase actuaciones para fomentar la I+D en Nanotecnología, fue la comunidad científica la encargada de promover iniciativas encaminadas a fortalecer la investigación en Nanotecnología y, de paso, a concienciar a la Administración Pública y a la industria de la necesidad de apoyar este campo emergente. Un ejemplo de estas iniciativas ha sido la formación de la Red NanoSpain, que aglutina actualmente a casi 1000 investigadores pertenecientes a 160 grupos de investigación. Otra iniciativa llevada a cabo por investigadores españoles es la organización en España de la serie de conferencias Trends in Nanotechnology, que se ha convertido en referencia mundial en el ámbito de la Nanotecnología y en la que anualmente cerca de 400 investigadores analizan la situación de este campo.

Además de estos esfuerzos por articular la interacción entre científicos que trabajan en Nanotecnología, existen otros esfuerzos de carácter más institucional como la creación ⇒

## Estados Unidos y Japón se encuentran a la cabeza de la investigación de nanomateriales

## La Nanotecnología se presenta como una línea de investigación prioritaria en España, con una dotación de 12 millones de Euros por año

del Laboratorio de Nanobioingeniería (Parque Científico de Barcelona), del Instituto de Nanotecnología de Aragón y del Laboratorio de Nanotecnología de la Universidad de Oviedo. En algunos casos, las Administraciones regionales han apoyado otras iniciativas, como la creación del Círculo de Innovación Tecnológica en Microsistemas y Nanotecnologías de la Comunidad de Madrid o de las redes NanoGalicia y Saretek. Quizás la actuación de la Generalitat de Cataluña ha sido la más decidida, promoviendo una Acción Especial para el desarrollo de la Nanociencia y de la Nanotecnología en Cataluña, convocando becas para estancias postdoctorales en centros de referencia, creando un Centro de Referencia de Bioingeniería de Cataluña, y el Instituto Catalán de Nanotecnología. Además, existe un claro acercamiento a la Nanotecnología por parte de los Centros Tecnológicos como TEKNIKER, INASMET, CIDETEC, IKERLAN, LABEIN, etc sabedores de que la presencia competitiva en Europa implica una fuerte apuesta en este campo. A otra escala, la Fundación de Ciencia y Tecnología (FECyT) promovió en el periodo 2004-2005 una Acción Piloto para el desarrollo de las Nanotecnologías.

Todas estas iniciativas de investigadores españoles junto con la influencia decisiva de las tendencias observadas en la Unión Europea han logrado que la Adminis-

tración Pública muestre su interés por este campo científico-tecnológico. Así, en el Plan Nacional de I+D+i para el periodo 2004-2007, la Nanotecnología se presenta como una línea de actuación prioritaria. En concreto, se ha definido una "Acción Estratégica en Nanociencia y Nanotecnología", con una dotación de 12 millones de Euros por año, que tiene entre sus objetivos mejorar las infraestructuras de uso compartido, formar técnicos cualificados y desarrollar una serie de actuaciones que intenten atraer al sector industrial hacia el ámbito de la I+D.

### Conclusiones

La Nanociencia y la Nanotecnología representan áreas científico-técnicas que han pasado, en menos de dos décadas, de las manos de un reducido grupo de investigadores que vislumbraron su gran potencial a constituir uno de los pilares reconocidos del avance científico durante las próximas décadas. La capacidad de manipular la materia a escala atómica ha permitido plantear la posibilidad de diseñar y fabricar nuevos materiales y dispositivos de tamaño nanométrico. Dicha posibilidad alterará por un lado los métodos de producción en fábricas, permitiendo optimización y automatización de procesos, contribuyendo a un desarrollo sostenible. Por otro lado, la revolución nanotecnológica impondrá un ritmo más fuerte en la imparable expansión de las tec-

nologías de la información, haciendo que la globalización de la economía, la propagación de ideas, el acceso a las distintas fuentes de conocimiento, la mejora de los sistemas educativos, etc, sigan sucediéndose vertiginosamente. Finalmente, la irrupción de las Nanotecnologías incidirá directamente en el ser humano mediante mejoras sustanciales en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, o la mejora de nuestras capacidades para interaccionar con el entorno.

Se puede afirmar, por lo tanto, que nos encontramos ante un nuevo paradigma científico de carácter multidisciplinar, donde Física, Química, Ingeniería, Biología, Medicina, Ciencia de Materiales, y Computación convergen, sin que esto signifique que haya que abandonar las perspectivas de partida. Lo que sí se hace imprescindible es establecer enlaces entre las comunidades científicas, buscar puntos de encuentro y promover la existencia de grupos multidisciplinarios donde se fragüen soluciones imaginativas a los problemas que se planteen en la nanoescala. ■

#### Más información:

- Red NanoSpain  
<http://www.nanospain.org>
- Conferencias Trends in Nanotechnology  
<http://www.tnt2005.org>
- Fundación de Ciencia y Tecnología  
<http://www.fecyt.es>

## Los nanomateriales tendrán menor impacto medioambiental, al ahorrar en materias primas, energía y poder controlar mejor las emisiones nocivas