



**Joaquín Tutor Sánchez**

Doctor en Ciencias Físicas. Profesor asociado doctor en la ETSI-ICAI ( Universidad Pontificia Comillas). Evaluador de proyectos y redes temáticas en el CYTED. Investigador para la empresa Cirta Emissions. Coordinador de la Red Temática “José Roberto Leite” de Divulgación y Formación en Nanotecnología, del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED.



**Víctor Ramón Velasco Rodríguez**

Profesor de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC); actualmente es Director en funciones del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC). Desde hace más de 30 años ha trabajado en temas de propiedades vibracionales, mecánicas y electrónicas en materiales de baja dimensión. En la actualidad participa de la Red Temática “José Roberto Leite” de Divulgación y Formación en Nanotecnología, NANODYF, del Programa CYTED.



**José Manuel Martínez Duart**

Doctor en Físicas y profesor de Física Aplicada en la Universidad Autónoma de Madrid. Imparte las asignaturas de Electrónica y La Física del Estado Sólido Aplicada. Especialista en NanoCiencia y NanoTecnología. De 1999 a 2003 fue miembro de la Red Temática IX-E “Estudio, Fabricación y Caracterización de Nanoestructuras para la Micro y la Optoelectrónica”, del Programa CYTED.



# La tecnología fundamental del siglo XXI: NanoTecnología

**Palabras clave:** NanoTecnología, nanomateriales.

**Key words:** Nanotechnology, nanomaterials.

## Resumen:

En las últimas décadas del pasado siglo XX y en los primeros años del XXI, el tema de la NanoTecnología ha ido ganando cada vez más interés, tanto cognoscitivo como en el campo de sus aplicaciones. En el presente artículo se hace una breve revisión de los conceptos fundamentales de esta novedosa tecnología, su importancia y sus métodos generales de trabajo; también se presentan algunas consideraciones sobre el impacto social y económico de la Ciencia y la Tecnología de los nanomateriales, resaltándose la importancia del papel de la divulgación de los logros de esta área de I+D+i, así como la educación específica y multidisciplinaria de nuevas generaciones de científicos y tecnólogos.

## Abstract:

*In the last decades of last XX Century and in the first years of this XXI Century, the topic of Nanotechnology has gone winning more and more interest so much cognitive as in the field of its applications. In this paper it is done a brief revision of the fundamental concepts of this novel technology, its importance and its general methods of work; some considerations are also presented on the social and economic impact of the Science and the Technology of the nanomaterials being stood out the importance of the paper of the popularization of the achievements of this area of R&D as well as the specific and multidisciplinary education of new generations of scientific and technologists.*

## Introducción

En la actualidad los conceptos de NanoCiencia y NanoTecnología están directamente relacionados con la creación de materiales útiles, dispositivos y sistemas a través de un control de sus componentes a escala nanométrica, con el objetivo de explotar las nuevas propiedades y fenómenos que emergen a dicha escala.

El desarrollo y la producción de artefactos en cuyo funcionamiento resulta crucial una dimensión de menos de 100 nanómetros (1 nanómetro (nm), equivale a  $10^{-9}$  metros) permitirá obtener materiales con una enorme precisión en su composición y propiedades. Estos nuevos materiales podrían proporcionar estructuras con una resistencia sin precedentes y ordenadores extraordinariamente compactos y potentes. Igualmente, la NanoCiencia y la NanoTecnología podrían conducir a métodos revolucionarios de fabricación de objetos átomo por átomo y al empleo de cirugía a escala celular.

En estos momentos es tan difícil establecer una distinción estricta entre las investigaciones básicas aplicadas y los desarrollos tecnológicos en la NanoCiencia y la Nanotecnología, que internacionalmente ya es habitual englobar en el término NanoTecnología tanto a la Ciencia como a la Tecnología a escala nanométrica.

Los orígenes de la NanoTecnología se remontan al 29 de diciembre de 1959, cuando el físico estadounidense Richard Feynman dio una conferencia ante la American Physical Society, titulada "Hay mucho sitio en el fondo". En aquella conferencia, Feynman trató los beneficios que supondría para la sociedad el que fuéramos capaces de manipular la sustancia y fabricar artefactos con una precisión de unos pocos átomos, lo que corresponde a una dimensión de 1 nm, aproximadamente. Sin embargo, no fue hasta 1974 cuando el especialista japonés Nomo Taniguchi acuñó el término "nanotecnología", en relación con la fabricación de productos mediante métodos de mecanizado. Taniguchi mostró cómo la tendencia a aumentar la precisión de fabricación estaba llevando inexorablemente al punto en que, en el año

2000, las piezas fabricadas con un mecanizado "normal" tendrían una precisión de 1  $\mu\text{m}$ , mientras que el mecanizado "de precisión" supondría una precisión de 10 nm y el "ultrapreciso" de hasta 1 nm.

A nivel internacional, el tema de la Ciencia y la Tecnología de las nanoestructuras es algo que ha venido creciendo cada día más. Muchos países de Norteamérica, Europa, Asia y América Latina están llevando a cabo planes nacionales con el fin de desarrollar ampliamente esta área de la Ciencia y la Tecnología en los próximos años. Ha quedado expuesto por muchos autores que las mayores aplicaciones de la NanoTecnología se dirigen hacia la microelectrónica, la informática, las comunicaciones, la automoción, la aeronáutica, la logística militar, la cosmética, la salud humana y animal, y el medio ambiente. Debido a que la NanoTecnología está en todo lo que nos rodea y sus efectos pueden apreciarse en productos de uso cotidiano como los ordenadores, los cosméticos, los móviles, los refrigeradores o los automóviles, esta rama de la Ciencia y la Tecnología será capaz de generar modificaciones trascendentales en los comportamientos económicos y sociales a escala mundial.

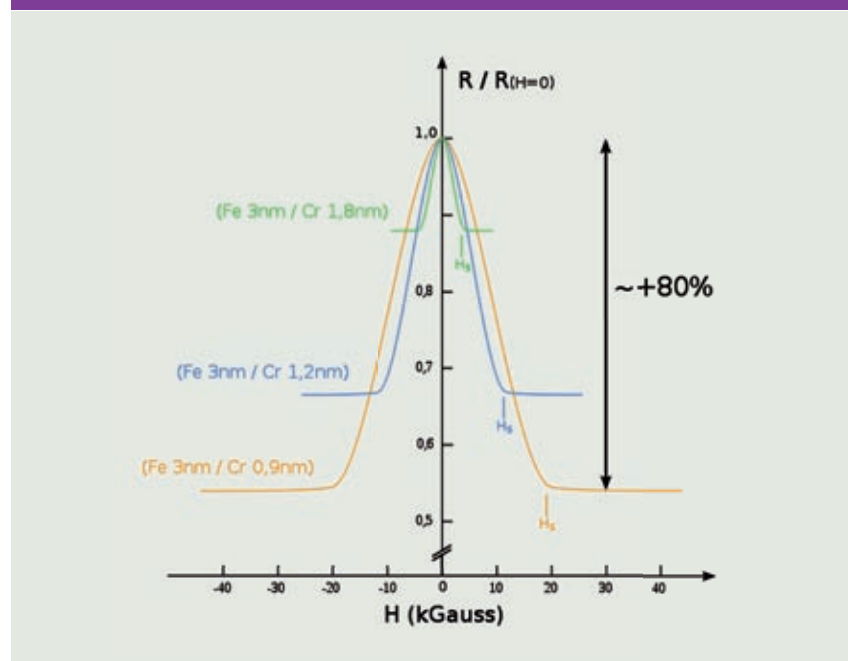
## Importancia de la NanoTecnología

Durante la evolución y desarrollo de la NanoTecnología se han podido evidenciar las respuestas al porqué esta nueva tecnología es importante. Estas respuestas se encuentran en las siguientes razones:

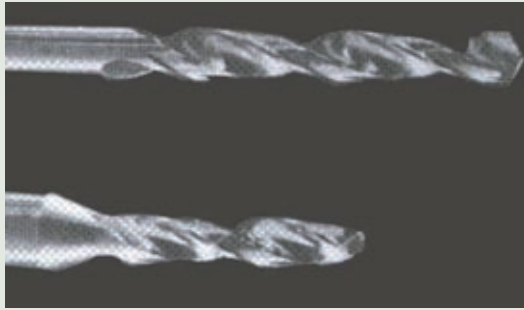
Una de las primeras razones es que, creando estructuras a escala nanométrica, es posible controlar propiedades fundamentales de los materiales; utilizando este potencial tendremos productos y tecnologías de altas prestaciones nunca antes alcanzadas. Esto se puede ejemplificar con propiedades tales como la magneto-resistencia gigante o la obtención de piezas a partir del mecanizado ultrapreciso (ver figura 1a y 1b).

En los últimos años se ha comprobado que la organización de la sustancia a escala nanométrica es la clave del futuro de los sistemas biológicos. La NanoTecnología permitirá ubicar componentes y agrupaciones de componentes en el interior de células y obtener nuevos materiales usando el método de auto-organización propio de la Naturaleza. Esta potente combinación de la ciencia de materiales y la biotecnología permitirá procesos e industrias completamente novedosas.

Figura 1. a) Nanoestructura con comportamiento Magneto-resistivo Gigante: característica de la magneto-resistencia versus intensidad de Campo Magnético



**Figura 1. b) Fabricación de brocas a partir de materiales nanocompuestos (arriba) en comparación con la fabricación usando materiales convencionales y técnicas convencionales (abajo)**



Otra razón por la cual la NanoTecnología es muy importante viene dada en el hecho de que los sistemas nanoestructurados, tales como nanopartículas y nanocapas, tienen una altísima razón superficie/volumen (figura 2), siendo esta razón ideal para el uso en materiales compuestos, reacciones químicas, liberación controlada de medicamentos y almacenamiento de energía.

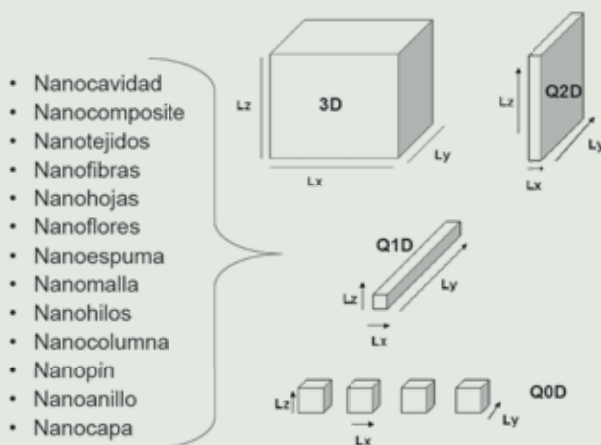
Por último, debe destacarse que las nanoestructuras son sistemas tan pequeños que pueden utilizarse para construir dispositivos que contengan una mayor densidad de componentes en comparación con los dispositivos micrométricos; controlando las interacciones y la complejidad de las nanoestructuras pueden lograrse nuevos conceptos de dispositivos electró-

nicos, circuitos más pequeños y más rápidos, funciones más sofisticadas y una gran reducción de la potencia consumida.

### Métodos generales de fabricación y producción de nanomateriales

Desde su nacimiento, la NanoTecnología se caracterizó por haberse desarrollado a través de dos métodos generales, tanto experimental como teóricamente. Estos métodos generales están caracterizados por la forma en que se producen, se caracterizan y se modelan los nanomateriales. Se conocen hoy en día como *NanoTecnología de Arriba a Abajo* y *NanoTecnología de Abajo a Arriba*. Veamos una breve descripción de estos métodos.

**Figura 2. Estructuras nanométricas de diferentes tamaños**



## NanoTecnología de Arriba Abajo

A través de este método se puede acercar a la precisión necesaria gradualmente, sobre todo mediante refinamientos de diferentes tecnologías de fabricación. La capacidad de controlar la precisión de fabricación hasta esos extremos está proporcionando muchos beneficios -a veces inesperados- que van más allá de la capacidad de producir un objeto con una forma muy bien definida. Los procedimientos técnicos más utilizados para proceder de *Arriba Abajo* son: el mecanizado ultrapreciso y técnicas litográficas tales como: fotolitografía, litografía por haces de electrones, etc. Como elemento a destacar en este proceder está el siguiente: en 1964, Gordon Moore, de la empresa estadounidense Fairchild Semiconductor Corporation, predijo que el número de transistores que se podrían fabricar en un chip se duplicaría cada año. Haciendo uso del procedimiento nanotecnológico de *arriba abajo* la última tecnología en chips comerciales, como el Pentium de Intel, ha logrado una anchura de línea de unos 300 nm, con aproximadamente 1,5 millones de transistores en cada chip. Algunos dispositivos especializados, como los chips de memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM) que pueden almacenar hasta 64 millones de bits de información, tienen más de 64 millones de transistores. En los primeros años del siglo XXI, las anchuras de línea mínimas de los chips comerciales disminuyeron hasta 100 o 200 nm en componentes como los chips de DRAM, que podrían almacenar más de 1.000 millones de bits.

## NanoTecnología de Abajo a Arriba

El concepto de construir un artefacto manipulando materia a escala nanométrica y ensamblando objetos átomo a átomo o molécula a molécula (el llamado enfoque de *Abajo a Arriba* de la NanoTecnología) se planteó por primera vez en la ya citada conferencia de Feynman en 1959. A lo largo de los últimos 15 años, este método general ha sido popularizado por Eric Drexler, ex director del Foresight Institute de Palo Alto, California. Drexler ha descrito estructuras moleculares de escala nanométrica movilizadas en gran número

Figura 3. Imagen de Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) de  $C_{60}$



-miles de millones- como robots programables para montar cualquier cosa. De esta forma se han sugerido múltiples aplicaciones para estos "nanorobots", que incluso podrían introducirse en el cuerpo humano para detectar y reparar daños en las células.

Es altamente conocido que la tecnología de Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) se emplea para obtener imágenes a escala atómica de variadas estructuras materiales. Sin embargo esta tecnología también puede emplearse para recoger y reemplazar átomos en una superficie, o empujarlos de un lado a otro, aplicando impulsos eléctricos. Ejemplo de esto ha sido la obtención de los llamados fullerenos (figura 3).

Otra área de trabajo de esta tecnología de *Abajo a Arriba* es la fabricación de materiales en los que algunos componentes se estructuran deliberadamente para que estén en la zona nanométrica. Estos materiales se denominan materiales de nanofase. Un ejemplo de este tipo de materiales nanoestructurados son las heteroestructuras semiconductoras nanométricas, que consisten en uniones de diferentes compuestos semiconductores obtenidos por métodos ya tan conocidos como la Epitaxia por Haces Moleculares (MBE), la Deposición Química de Vapores Metalorgánicos (MOCVD), la Deposición de Vapores Químicos (CVD) y la Epitaxia por Haces Químicos (CBE) (figura 4). Los espesores de las capas semiconductoras, que provocan nuevos y trascendentes

efectos, son de entre algunas decenas de nanómetros hasta cientos de ellos.

El campo de los materiales de nanofase se ha ampliado hasta incluir el estudio de las propiedades electrónicas y ópticas de los polvos ultrafinos. Se sabe que, desde la época de los romanos, se podían obtener vidrios con un profundo color rubí dispersando en él partículas ultrafinas de oro. Estas partículas pueden alcanzar un tamaño de hasta unos 100 nm. En la actualidad, científicos y tecnólogos estudian las propiedades ópticas de una amplia gama de materiales, especialmente semiconductores, en forma de polvos ultrafinos con fines bioinformáticos, de salud y en cosmetología.

### Impacto Económico y Social de la NanoTecnología

Los nuevos conceptos de la NanoTecnología son tan amplios y pe-

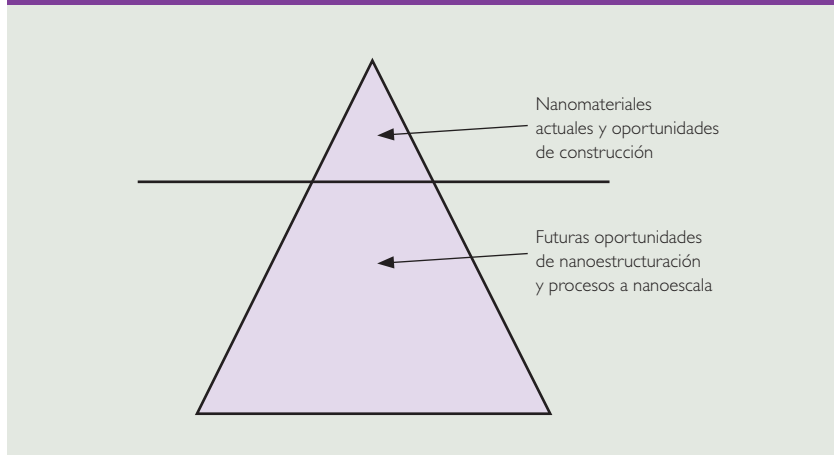
netrantes que se espera que influyan en todas las áreas de la Ciencia y la Tecnología en formas que hoy aún son impredecibles. Hoy en día sólo se conoce una pequeña parte de todas las posibilidades que esta nueva Tecnología puede aportar (figura 5), y ello justifica el esfuerzo que hay que hacer para llevar adelante la Investigación, el Desarrollo y las futuras Innovaciones.

Desde el punto de vista económico se ve como, hoy en día, los materiales reforzados con nanopartículas están influyendo considerablemente en la industria automotriz y aeronáutica; la fabricación de pozos cuánticos, superredes, alambres cuánticos y puntos cuánticos, así como nuevos dispositivos producidos a partir de estos objetos, están revolucionando la Electrónica y las Comunicaciones; la obtención de nuevos medicamentos nanoestructurados, nuevos estudios genéticos y sistemas de liberación controlada de fármacos dan lugar a nuevas concepciones en la obtención de productos farmacéuticos, en la salud humana y animal y en general en las ciencias de la vida. La confección de membranas selectivas, en forma de trampas nanométricas para eliminar contaminantes, permitirá realizar una contribución muy favorable al cuidado y protección del Medio Ambiente. Y también nuevos detectores de agentes químicos y biológicos, recubrimientos nanoestructurados fuertes, y materiales de camuflaje obtenidos a partir de nanomateriales, darán un vuelco a las concepciones de la defensa.

Figura 4. Equipo de Epitaxia por Haces Químicos (CBE)



Fig. 5. Esquema del estado actual de las posibilidades de la NanoTecnología y sus futuras oportunidades



Las metas de las investigaciones en NanoTecnología son tan fundamentales, tan interdisciplinarias y de tan alto riesgo para lograr un liderazgo industrial, que se ha despertado un marcado interés entre industriales y empresarios a nivel internacional. Eso sí, sin descartar que muchas de ellas sólo se lograrán a largo plazo. El impacto socio económico de la NanoTecnología será mucho mayor que el de los circuitos integrados de silicio, debido a que su influencia abarca un mayor número de campos.

Existen dos aspectos de carácter social que permitirán la lógica continuidad y los éxitos propios de la NanoTecnología. Estos son: la labor del área de las ciencias sociales y la labor del sector educacional.

Los especialistas dedicados al tema de la relación ciencia-sociedad deberán velar por cómo se conduce y cómo se desarrolla la NanoTecnología. ¿Cómo se logrará esto? Pues ayudando a los "tomadores de decisiones" ("policymakers") a decidir, de forma consciente y coherente, qué áreas deberán ser priorizadas y cómo financiarlas para obtener los mejores resultados en el futuro; dando a conocer a las grandes masas cómo está avanzando la NanoTecnología; conociendo cómo están diseminándose los avances de la NanoTecnología y, por último, sabiendo cómo proponer la corrección del curso del desarrollo de la NanoTecnología cuando sea necesario. Para esto los especialistas de-

berán identificar, prever e investigar el grado variable de la aceptación social a las nuevas tecnologías, teniendo en cuenta indicadores de medida de la aceptación de la NanoTecnología en sectores tales como: la economía, la política, la religión y la cultura.

Otro aspecto trascendente es la labor educacional. La formación básica y especializada de recursos humanos es también de tremenda importancia para el futuro de la Ciencia y la Tecnología del campo de las nanoestructuras. La creación de recursos humanos multidisciplinarios que trabajen en este campo es una absoluta necesidad. Si se quieren obtener ventajas de este revolucionario y excitante campo, las personas deben comenzar a pensar en formas verdaderamente no convencionales. Pero aun más, el hecho real de que en un futuro no muy lejano nuevos equipos e instrumentos comercializados tengan sus bases en la NanoTecnología hace que sus usuarios deban conocer el principio de su funcionamiento y las bases de sus construcciones, lo que dará lugar a una cultura elemental generalizada en las grandes masas acerca de esta área de la Ciencia y la Tecnología contemporánea: como hoy es de conocimiento general el funcionamiento de una bujía eléctrica para el alumbrado, mañana deberá ser de conocimiento general el funcionamiento de un puntero láser construido gracias a los éxitos alcanzados en el campo de la optoelectrónica de las nanoestructuras semiconductoras.

De cara a dar respuestas a estos dos últimos aspectos en Iberoamérica, la divulgación y la formación, recientemente ha sido aprobada una Red Temática Iberoamericana, la Red "José Roberto Leite" de Divulgación y Formación en NanoTecnología, del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Entre otros objetivos esta red se propone identificar cuál es la situación actual de las actividades divulgativas y formativas a distintos niveles en NanoTecnología en la región iberoamericana.

## Conclusiones

En resumen, no es sorprendente que la NanoTecnología pueda ser considerada como la tecnología fundamental del siglo XXI, que provocará sin duda, sí no ha provocado ya, una nueva revolución en los campos del pensamiento, de la economía y de la sociedad; hasta tal punto que se requerirá de todo el esfuerzo de científicos, tecnólogos, políticos, economistas, profesores y maestros para conducir de forma armónica y consecuente los logros de una nueva tecnología que nos podrá brindar una mejor calidad de vida si se sabe utilizar adecuadamente. ■

## Bibliografía

1. *Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report/Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade*. IWGN Workshop. Enero 27-29, 1999. USA.
2. *Societal Implications of NanoScience and NanoTechnology*. NSET Workshop Report. Edited by M.C. Rocco and William Sims Bainbridge, National Science Foundation (USA). March 2001. Arlington, Virginia.
3. M. Welland, *NanoTechnology*, V. 13, No. 1 (2001). Editorial.
4. *National Nanotechnology Initiative Fiscal Year 2002*. <http://nano.gov>
5. *National Nanotechnology Initiative Fiscal Year 2003*. <http://nano.gov>
6. M.C. Rocco, *National Nanotechnology Investment in the FY 2003 Budget Request by the President*. <http://nano.gov>
7. J. L. Vallés, *Nanoscience and Nanotechnology Research in the Framework Programme of the European Community*. China-EU Forum on Nanosized Technology. Beijing, P.R. of China. December, 2002.
8. J. Tutor, V. Velasco. *Nanoestructuras Semiconductoras: un futuro estratégico para Iberoamérica*. Revista Española de Física V. 16, No. 4 (2002) pp. 3-5.