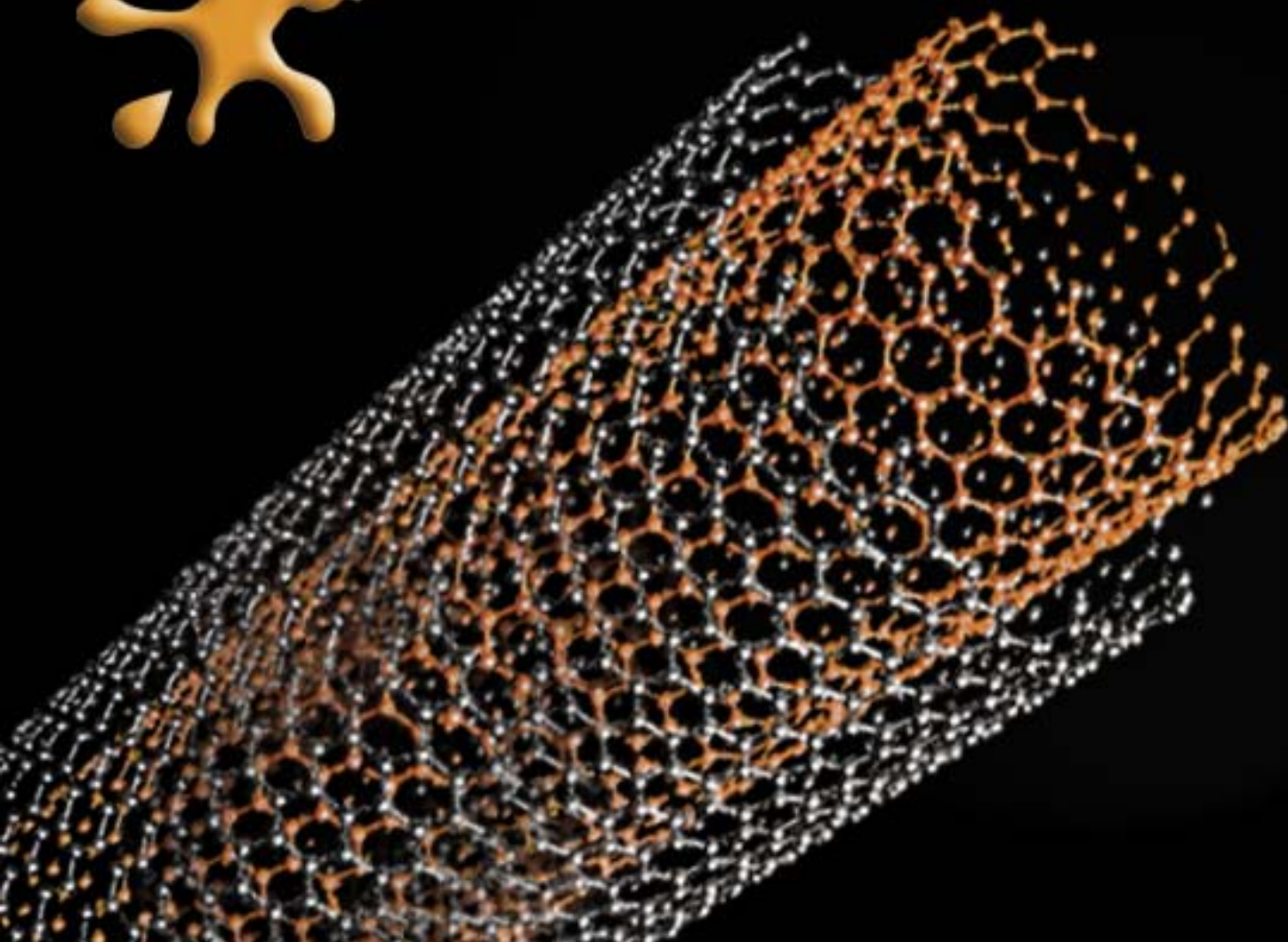


05

NANOTECNOLOGÍA

La Revolución Industrial  
del Siglo XXI

FUNDACIÓN DE LA INNOVACIÓN **BANKINTER**





La Fundación Accenture colabora con la Fundación de la Innovación **Bankinter** en la realización de este estudio del Future Trends Forum (FTF) y ayuda en la difusión de los trabajos de este líder de opinión independiente sobre prospectiva e innovación. En este sentido, la compañía consultora pone a disposición del FTF todo su patrimonio de conocimiento y dilatada experiencia para hacer de las empresas e instituciones organizaciones de alto rendimiento.

# Agradecimientos

---



Nuestro especial agradecimiento a todos los miembros del Future Trends Forum (FTF) que han hecho posible el éxito de nuestra última reunión, especialmente a aquéllos que han participado activamente en la realización de esta producción:

En la Organización y metodología de la reunión del FTF:

D. Christopher Meyer.  
D. José Ignacio Ríos.  
D. Brent Segal.

Por su participación como ponentes en la reunión:

D. C.J.M. Eijkel.  
D. Darío Gil.  
D. Lawrence Grumer.  
D. Timothy Harper.  
D. Douglas Jamison.  
D. Uzi Landman.  
D. Elliott Moorhead.  
D. Michael Moradi.  
D. Brent Segal.  
D. Henry Smith.

Por su contribución en el prólogo:

D. Henry Smith.

Por su contribución con documentación gráfica:

D. Timothy Harper

En la revisión de esta publicación:

D. Ramón Eritja.  
D. Darío Gil.  
D.<sup>a</sup> Laura Lechuga.  
D. Javier Martí.  
D. Lluís Torner.

Además, también nuestro sincero reconocimiento a las personas del equipo, por su compromiso y buen hacer en el desarrollo del contenido de esta publicación:

Bankinter:

D.<sup>a</sup> Marcelina Cancho Rosado.

D.<sup>a</sup> Rocío Huerta Morea.

D.<sup>a</sup> Paula Manrique Huarte.

Accenture:

D.<sup>a</sup> Silvia Cortés Gil.

D.<sup>a</sup> Berta Merelles Artiñano.

D. Héctor Muñoz Vara.

Muchas gracias.

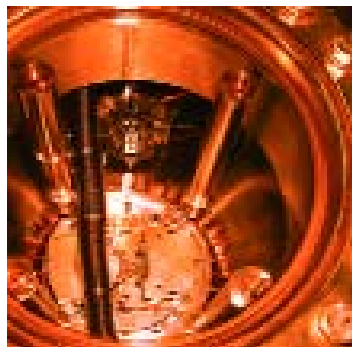
Fundación de la Innovación **Bankinter**.

# Indice

Agradecimientos	3
Resumen Ejecutivo	7
1.- La promesa de la nanotecnología	10
2.- Introducción	14
3.- Presente y Contexto de la Nanotecnología	18
3.1. Definición y antecedentes	20
3.2. Principales áreas de aplicación	27
3.2.1. Materiales	28
3.2.2. Electrónica	36
3.2.3. Medicina /Biología	45
3.2.4. Energía	52
3.3. Apoyo Gubernamental	59
3.3.1. Apoyo gubernamental a nivel global	61
3.3.2. Apoyo procedente de la Unión Europea	67
3.3.3. Apoyo gubernamental en España	73
4.- La Cadena de Valor	78
4.1. Etapas de la cadena de valor	80
4.2. Agentes que pueden impulsar la industria de la nanotecnología	81
4.3. Personas influyentes en la nanotecnología	83
4.4. Apoyos económicos en la cadena de valor	85
5.- La visión del FTF de la Nanotecnología	88
5.1. Los aceleradores y las barreras de la nanotecnología	90
5.2. Evolución de la nanotecnología por regiones	94

5.3. Riesgos derivados de la nanotecnología y presión social	100
5.4. Algunas pinceladas sobre inversión en nanotecnología	105
5.5. La nanotecnología en nuestras vidas	113
<b>6.- Apéndice</b>	<b>116</b>
6.1. Miembros del FTF	118
6.2. Glosario	123
6.3. Premios a la nanotecnología	130
6.4. Bibliografía	134

# Resumen Ejecutivo



## La revolución tecnológica del siglo XXI

**E**n 1959, en una ponencia titulada "There Is Plenty of Room at the Bottom" (Hay mucho espacio por debajo), el físico Richard Feynman propuso un nuevo campo de estudio para la ciencia: la tecnología a escala atómica y molecular. "Los principios de la física, que yo sepa, no están en contra de la posibilidad de manipular cosas átomo por átomo", afirmó Feynman ante la American Physical Society, dejando el campo abierto para quien quisiera explorarlo. Este hecho suscitó el interés por el desarrollo de la tecnología a una escala diminuta, que continúa en la actualidad y que probablemente desemboque en una revolución silenciosa de impacto en múltiples ámbitos de nuestra vida cotidiana.

La nanotecnología es un conjunto de técnicas multidisciplinares que se utilizan para manipular la materia a escala de átomos y moléculas. El prefijo *nano-* hace referencia a la milmillonésima parte de un metro. Para comprender el potencial de esta tecnología es clave saber que las propiedades físicas y químicas de la materia cambian a escala nanométrica: la conductividad eléctrica, el color, la resistencia, la elasticidad y la reactividad, entre otras propiedades, se comportan de manera diferente a como lo hacen en los mismos elementos a mayor escala.

La nanotecnología es de aplicación en diferentes campos, entre los que van a destacar los materiales, la electrónica, la biomedicina y la energía. Materiales con una dureza y resistencia mucho mayor, ordenadores mucho más veloces y de mayor capacidad, investigaciones y diagnósticos médicos más eficaces con una capacidad de respuesta más rápida para tratar nuevas enfermedades o energía abundante a bajo coste y respetuosa con el medio ambiente son algunos ejemplos de cómo la nanotecnología podrá revolucionar el potencial de muchos de los campos tal como los percibimos hoy día.

Sin embargo, la nanotecnología ya está aquí; existen materiales a nanoescala que son utilizados en productos de consumo: cosméticos mucho más eficaces y protectores, raquetas de tenis más flexibles y resistentes o gafas que no se rayan son algunas de las aplicaciones que podemos encontrar ya en el mercado. Los investigadores opinan que es cuestión de tiempo que los productos con nanotecnología se vayan incorporando a nuestras actividades. De hecho, estiman que las ventas actuales de productos que incorporan nanotecnología aumentarán del 0,1% del total de los productos manufacturados al 15% para el año 2014.

El desarrollo de nuevos productos y procesos, así como la penetración en nuevos mercados, exige grandes inversiones que van a resultar claves en el desarrollo con éxito de la nanotecnología. Hasta ahora las iniciativas públicas han sido las que han permitido

que la nanotecnología empiece a despegar, pero hoy día el sector privado empieza a tomar el relevo cobrando un protagonismo creciente. No obstante, dependiendo de la región en la que nos encontremos podremos observar diferencias notables, ya que, si bien las empresas norteamericanas y asiáticas superan la inversión pública de sus gobiernos, en Europa todavía habrá que esperar para ver al sector privado liderar la inversión en nanotecnología.

### *Conclusiones del Future Trends Forum en la evolución de la nanotecnología*

Los expertos del FTF prevén que el desarrollo de la nanotecnología comenzará a tener una gran repercusión en los próximos cinco-diez años, aunque con distinta evolución según los diferentes sectores. Los nanomateriales, al tener aplicación en diversos sectores, se prevé que sean los que antes se introduzcan en el mercado para posteriormente permitir la entrada de la nanotecnología en la electrónica y la energía. El campo en el que se estima que la nanotecnología tardará más en hacer su aparición es la medicina, ya que se verá condicionada por la regulación en sus aplicaciones.

Las expectativas creadas en torno a la nanotecnología proyectan un desarrollo dividido en tres fases:

- La actualidad: la nanotecnología se encuentra en fase de investigación y el conocimiento científico se empieza a plasmar en aplicaciones.
- Los próximos cinco años: período en el que se espera que se desarrollen numerosas aplicaciones que empiecen a ser industrializadas por las empresas.
- De diez años en adelante: la nanotecnología se consolidará como industria y el consumidor dispondrá de gran cantidad de productos con nanotecnología en el mercado.

Esta evolución va a depender de una serie de factores clave que los expertos del FTF han identificado entre la incertidumbre que envuelve a la nanotecnología y que van a determinar su éxito. La presencia de las herramientas adecuadas que permitan el estudio a escala nanométrica, la búsqueda de aplicaciones prácticas que atraigan la inversión privada, la reducción de los costes de procesos y equipamiento, y una política gubernamental que fomente su desarrollo ayudarán a que la nanotecnología penetre en el mercado con mayor celeridad.

A pesar de que los expertos otorgan una gran probabilidad a que estos factores se cumplan, también han identificado una serie de obstáculos que pueden ralentizar la nanotecnología. La escasez de inversión supondría un despegue mucho más a largo plazo de la nanotecnología ante la falta de recursos, así como la falta de coordinación entre centros de investigación y empresas podría hacer más difícil que las aplicaciones llegaran a industrializarse.



No obstante, el FTF se decanta por creer que la nanotecnología verá la luz a medio plazo, con la incorporación de muchos elementos con nanotecnología en nuestras vidas. Prácticas diarias relacionadas con la higiene y la comunicación son algunas de las actividades que los expertos del FTF creen que se verán más revolucionadas por la nanotecnología. Otros avances que harán cambiar nuestro estilo de vida y que la nanotecnología nos tiene preparados tienen que ver con el transporte o con la alimentación: identificar el estado de la comida a través del color del envase, gracias a unas nanopartículas, ayudará a desechar alimentos antes de consumirlos; o vehículos impulsados por hidrógeno, el cual se almacena a través de tanques que incorporan nanotecnología, permitirán el uso de una fuente de energía renovable y no contaminante. Éstos son sólo algunos de los adelantos que la nanotecnología proporcionará, ya que de una forma u otra estará presente en prácticamente todos los aspectos cotidianos de la vida diaria.

La nanotecnología, al igual que toda nueva tecnología incipiente, crea incertidumbre en torno a las consecuencias de su potencial. En este sentido, son la comunidad científica y el gobierno con regulación específica los que deben minimizar los posibles riesgos. Nanopartículas no controlables que supongan un riesgo para el medio ambiente y el uso de nanosensores que puedan rozar la frontera del derecho a la intimidad del individuo son los principales riesgos que los expertos del FTF opinan que pueden causar alarma social.

En conclusión, la nanotecnología es la ciencia llamada a protagonizar el siglo XXI con aplicaciones que mejoren nuestra calidad de vida. Supondrá un gran impacto en la economía, generará nuevas oportunidades empresariales y abrirá nuevas oportunidades a países en vías de desarrollo para ponerse a la altura tecnológica de las grandes potencias gracias a la potencial cualificación de sus profesionales.

Fundación de la Innovación **Bankinter**

1

---

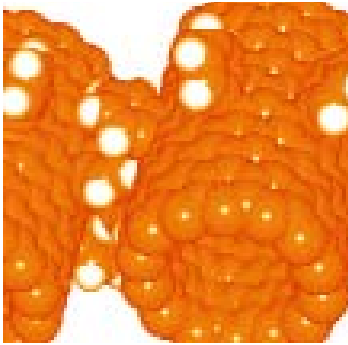
CAPÍTULO 1

# La promesa de la nanotecnología

---

# 1

## La Promesa de la Nanotecnología



**E**l campo de la nanotecnología se enmarca dentro de las ciencias y la ingeniería. Las estructuras con las que se lidia en este campo miden, en al menos una de las tres dimensiones, menos de 100 nanómetros, es decir, la millonésima parte de un metro. La prueba viviente de cuán importantes son las nanoestructuras está en los sistemas orgánicos, complejos ensamblajes de componentes en la escala "nano": macromoléculas, complejos proteínicos, orgánulos, sistemas cuasi inorgánicos (como las cáscaras o los huesos), etc. Las maravillosas funciones que los sistemas orgánicos son capaces de realizar (la lógica, la memoria, la moción, la síntesis química, la conversión de energía o, incluso, la conciencia del yo) son consecuencia directa de la complejidad estructural en la nanoescala.

Los millones de transistores que conforman los chips que hacen funcionar nuestros ordenadores y móviles son, obviamente, nanoestructuras. Como se puede ver, el campo de la nanotecnología es amplísimo. Abarca desde la biología molecular hasta la electrónica, hasta el infinito. La investigación y desarrollo sobre nanoestructuras existe desde hace décadas. Los productos comerciales basados en nanoestructuras han estado disponibles para el público desde hace décadas; sin embargo, el interés por este campo últimamente ha crecido de manera exponencial, tanto por parte de los círculos científicos como por parte de los organismos gubernamentales y la comunidad de inversores.

Este renovado interés por la ciencia y la ingeniería en la nanoescala se debe a la conjunción de varios factores: las mejoras en los nanoprodutos y las nanoherramientas (microscopía); el descubrimiento de que las nanoestructuras sintéticas se caracterizan por propiedades inusitadas; la expectación ante la revolución comercial y social que se avecina, parecida a la provocada en su momento por la industria de los semiconductores; el resultado de la investigación en nanotecnología; y, por último, un mayor apoyo gubernamental de la ciencia y la ingeniería en la nanoescala.

La Historia nos enseña que los frutos de la investigación son impredecibles. No obstante, la Historia también nos ha enseñado que ciertas áreas de investigación dejan ver su potencial desde el primer momento. Un ejemplo: la biología molecular nació hace treinta años y hoy los esfuerzos en investigación están dando sus frutos en forma de mejora de los cuidados sanitarios y un mayor entendimiento de las enfermedades genéticas, por mencionar sólo dos impactos.

Otro ejemplo: en los albores de las tecnologías de la información, estaba claro que invertir en investigación científica relacionada con este campo daría buenos frutos. Sin embargo, ningún pionero en tecnologías de la información se anticipó a la World Wide Web. En los comienzos de la fibra óptica, nadie pudo anticipar la extensa red de

comunicaciones ópticas que existe hoy. En 1947 se inventó el transistor y todo el mundo coincidió en la importancia de fomentar la investigación en el campo de los semiconductores, pero nadie habría podido imaginar, ni remotamente, los miles de millones de transistores existentes en los ordenadores baratos que los niños utilizan en la escuela normalmente.

Por tanto, con el libro de Historia en la mano, todo indica que la investigación en nanotecnología, siempre y cuando se apoye y realice de forma inteligente, dará unos frutos que justificarán de sobra el entusiasmo de hoy.

**Henry I. Smith**

Profesor de Ingeniería Eléctrica, Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT),  
Cambridge, MA 02139, Estados Unidos

2

---

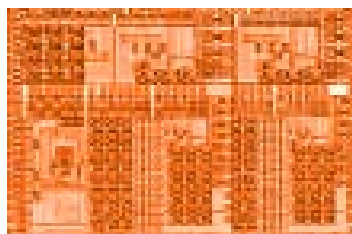
CAPÍTULO 2

# Introducción

---

# 2

## Introducción



El contexto actual en el que se mueve la sociedad de cambio acentuado, fomenta la búsqueda de una información veraz y precisa que nos permita el seguimiento de tendencias o su descubrimiento. Desarrollar una nueva perspectiva de estudio nos conducirá a un mejor conocimiento de nuestro futuro tecnológico y a un mejor aprovechamiento de las oportunidades empresariales que en él se presenten.

Bankinter creó la "Fundación de la Innovación" con la intención de influir en el presente mirando al futuro, y de estimular y consolidar la actitud innovadora en el tejido empresarial español. Un proyecto ambicioso e innovador, que marca como principales objetivos incrementar la sensibilidad social por la tecnología y estimular la creación de oportunidades empresariales basadas en las tecnologías emergentes detectadas. Un proyecto que ya cuenta con 130 miembros y que persigue, asimismo, reforzar el compromiso de Bankinter con la sociedad.

El principal proyecto de la "Fundación de la Innovación **Bankinter**." es el "Future Trends Forum" (FTF), escaparate de la cultura de Bankinter: innovación y compromiso con la vanguardia. Un Foro con la aportación de un selecto y exclusivo número de expertos de distintas áreas del conocimiento, científicos, e intelectuales de primer orden, a nivel internacional. Un Foro con algunas de las mentes más prestigiosas, que buscan anticiparse al futuro inmediato, con un horizonte de 5 a 10 años, detectando tendencias sociales, económicas y corrientes tecnológicas venideras, analizando su posible implicación en diferentes contextos y determinando las conclusiones que deben ser divulgadas a los distintos ejes estratégicos de la sociedad.

El FTF basa su metodología en tres pilares: multidisciplinariedad, neutralidad y globalidad. Tres aspectos que resultan esenciales para garantizar a la sociedad que cualquier nueva respuesta al futuro no se vea afectada por intereses o favoritismos de ningún tipo.

Los miembros del FTF proponen libremente, votan y finalmente deciden el tema que será posteriormente debatido en profundidad. El resultado final de cada uno de estos procesos es la divulgación a los empresarios, profesionales, altos directivos y a las empresas e instituciones de las conclusiones de esta labor de prospección. Divulgación que se lleva a cabo a través de distintas conferencias, que recorrerán las principales capitales españolas, y mediante esta publicación.

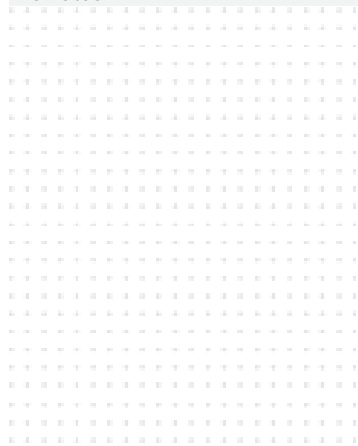
Así, podrá hallar en las conclusiones de este quinto encuentro del FTF, la información rigurosa, solvente y creíble sobre un tema que se debatió y que determinaron prioritario para nuestro futuro más inmediato: "Nanotecnología: La Revolución Industrial del Siglo XXI".



En la publicación que se le presenta, se despliegan los análisis que el FTF, junto con Accenture como colaborador principal, ha desarrollado sobre el posible impacto de la Nanotecnología en sectores como los materiales, la electrónica, la medicina o la energía así como en la sociedad en general. Para ello el documento incluye como capítulos principales el "Presente y contexto de la Nanotecnología", en el que se fijará la presencia e investigación de la Nanotecnología en los diferentes sectores, así como el apoyo gubernamental que tanta importancia tiene en el despegue de esta nueva ciencia. También se aporta la "Visión del FTF" donde se mostrarán las conclusiones de los expertos sobre posibles escenarios de futuro e impactos más probables tanto económicos como sociales en las distintas regiones identificadas como líderes.

La **Fundación de la Innovación Bankinter** espera una vez más que esta nueva publicación sirva de fuente de conocimiento, pero, ante todo, de estímulo y orientación a profesionales y empresarios de distintos sectores que, en cierta medida, se ven o se verán fuertemente influidos por la incursión de la Nanotecnología en el escenario de todos los mercados del mundo.

Mis notas



33

---

CAPÍTULO 3

# Presente y Contexto de la Nanotecnología

---

## 3

## Presente y contexto de la nanotecnología



**A**lgunos ya hablan de una nueva revolución industrial, mientras que otros apenas han oído hablar de nanotecnología. Esta nueva ciencia, si es que se puede calificar de esta forma, es una gran desconocida. De hecho, hace décadas que estamos utilizando algunos nanomateriales y la mayoría de nosotros no somos conscientes de ello.

El presente capítulo tiene como objetivo sentar las bases para poder entender qué es la nanotecnología, cuándo podemos calificar un avance de nanotecnológico y en qué contexto nos movemos actualmente.

Para ello se van a abordar en primer lugar la definición y los antecedentes históricos, además de mostrar la realidad actual de las cuatro principales áreas de aplicación en las que se está investigando: materiales, electrónica, medicina y energía. A continuación se presenta el papel de los poderes públicos en esta nueva aventura tecnológica.

### 3.1. Definición y antecedentes

Las nanociencias y las nanotecnologías son nuevas áreas de investigación y desarrollo cuyo objetivo es el control tanto del comportamiento como de la estructura fundamental de la materia a escala atómica y molecular.

Estas disciplinas abren las puertas a la comprensión de nuevos fenómenos y al descubrimiento de nuevas propiedades susceptibles de ser aplicadas a escala macroscópica y microscópica. Las aplicaciones de las nanotecnologías son cada vez más visibles y su impacto empieza a sentirse y pronto abarcará muchos aspectos de la vida cotidiana.

#### *Primero, lo primero*

Definir la nanotecnología no es una tarea fácil. Se pueden encontrar muchas definiciones parecidas, aunque con diferentes matices, sobre todo a la hora de poner en práctica la ciencia de lo pequeño. Por eso, vamos a ir paso a paso.

El prefijo nano proviene del griego y significa 'enano', y en ciencia y tecnología quiere decir  $10^{-9}$  (0,000000001). Un nanómetro (nm) es una milmillonésima parte de un metro, es decir, decenas de miles de veces más pequeño que el diámetro de un cabello humano.

En la ilustración 1 podemos ver un gráfico con ejemplos de estructuras generadas por la naturaleza o desarrollos realizados por el hombre, que son cada vez más pequeños hasta llegar a nanómetros.

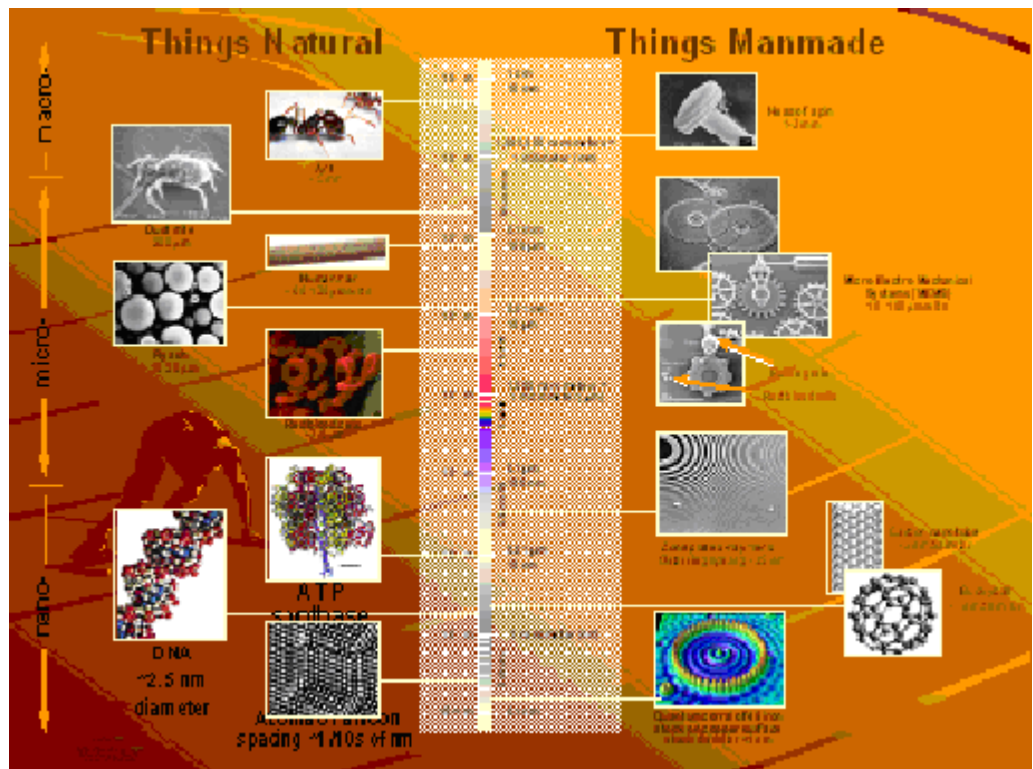


Ilustración 1: Estructuras naturales y artificiales

Fuente: presentación realizada en el FTF por el doctor Brent M. Segal.

En primer lugar, se puede definir la *nanociencia* como el estudio del comportamiento y la manipulación de materiales a escala atómica o molecular para entender y explorar sus propiedades, que son significativamente distintas de aquellas propiedades a mayor escala.

Mis notas

En la comunicación de la Comisión Europea titulada *Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías* se recoge la siguiente definición:

"La nanotecnología es una ciencia multidisciplinar que se refiere a las actividades científicas y tecnológicas llevadas a cabo a escala atómica y molecular, así como a los principios científicos y a las nuevas propiedades que pueden ser comprendidos y controlados cuando se interviene a dicha escala".

Vamos a dividir esta definición en tres aspectos diferentes que merecen una mención especial:

■ *"La nanotecnología es una ciencia multidisciplinar que se refiere a las actividades científicas y tecnológicas..."*

A menudo se hace alusión a la nanotecnología como una ciencia "horizontal". La nanotecnología es verdaderamente multidisciplinar. Colaboran especialistas en materiales con ingenieros mecánicos y electrónicos, pero también con investigadores médicos, biólogos, físicos y químicos. Un nexo común une a toda la investigación nanoescalar: la necesidad de compartir saberes sobre métodos y técnicas, combinándolos con saberes sobre las interacciones atómicas y moleculares en este nuevo territorio de la ciencia.

■ *"... actividades [...] llevadas a cabo a escala atómica y molecular..."*

El término nanotecnología describe el conjunto de tecnologías que se enfocan hacia la producción y aplicación de distintos sistemas en una escala que va desde el nivel atómico o molecular hasta alrededor de 100 nanómetros. Como ejemplo ilustrativo, el punto de esta "i" puede contener hasta un millón de nanopartículas.

■ *"... así como a los principios científicos y a las nuevas propiedades que pueden ser comprendidos y controlados cuando se interviene a dicha escala".*

La diferencia entre los materiales a nanoescala en comparación con esos mismos materiales a escala macroscópica es que la superficie de los primeros en relación con su masa es relativamente mayor, lo que permite que sean químicamente más reactivos y, por tanto, que haya cambios en sus propiedades básicas. Más aún, por debajo de pocos nanómetros, las leyes clásicas de la física dejan paso a la física cuántica, que regula con diferentes leyes los comportamientos ópticos, eléctricos y magnéticos.

### *Corrientes de investigación en nanotecnología*

Si relacionamos la definición realizada de nanotecnología y los aspectos que la componen con las investigaciones que se están llevando a cabo, podemos hablar de tres corrientes distintas de investigación que pueden circunscribirse al campo de la nanotecnología:

■ *Nanotecnología por tamaño:* se persigue la construcción de estructuras y dispositivos cada vez más pequeños, llegando a escalas nanométricas.

■ *Nanotecnología por operación:* se investiga sobre nuevas características de los materiales mediante su manipulación a escala atómica o molecular.

■ *Nanotecnología por método de fabricación*: se refiere al *bottom-up assembly* o molecular *self-assembly*, es decir, la unión o conjugación de átomos y moléculas para crear una estructura nueva y más compleja.

El inicio de las investigaciones fue la nanotecnología por tamaño, es decir, la miniaturización de los productos. En este ámbito se está llegando actualmente a unos límites físicos en los que se hace necesaria la investigación en las nuevas características de los materiales por su manipulación a escala atómica o molecular (nanotecnología por operación).

Estas dos corrientes, por tanto, han ido de la mano durante estos años, aunque parece que la primera va a dejar espacio para un mayor desarrollo de la segunda en un futuro próximo.

La tercera corriente de investigación (por método de fabricación), según los expertos, genera algo más de incertidumbre, ya que aún no se ve próximo el despegue de esta tecnología. La posibilidad de crear estructuras nuevas podría ser una gran revolución, pero parece que habrá que esperar algunos años más para verla.

En la ilustración 2 se muestra gráficamente la opinión de los expertos del FTF con relación a la evolución de estas corrientes de investigación a lo largo del tiempo.

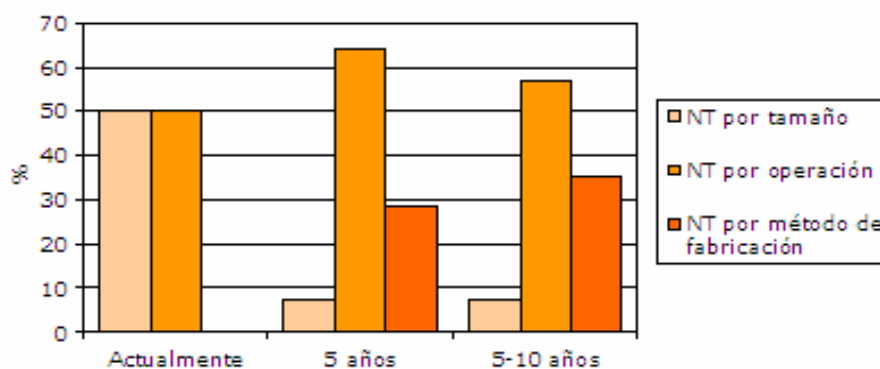


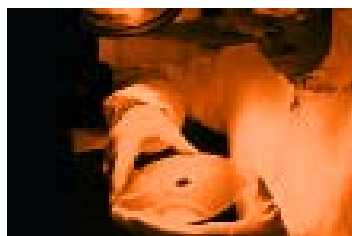
Ilustración 2: Evolución de las corrientes de investigación

Fuente: *Elaboración propia.*

### Un poco de historia

El término nanotecnología fue acuñado por Norio Taniguchi<sup>1</sup>, de la Universidad de Tokio, en 1974, con el objetivo de distinguir entre la ingeniería llevada a cabo a escala micro ( $10^{-6}$ ) y la llevada a cabo a escala nano ( $10^{-9}$ ), una diferencia nada desdeñable. Gracias a Eric Drexler, del MIT (Massachusetts Institute of Technology), este término se popularizó a raíz de su libro *Engines of Creation*, publicado en 1986.

1. Taniguchi: "On the Basic Concept of 'Nano-Technology', Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering, 1974.



Sin embargo, los orígenes de la nanotecnología se remontan a diciembre de 1959, cuando Richard Feynman, premio Nobel de Física, se dirigió a la American Physical Society con una conferencia titulada "Hay mucho sitio por debajo"<sup>2</sup>. En aquella disertación, Feynman destacó los beneficios que supondría para la sociedad la capacidad de atrapar y situar átomos y moléculas en posiciones determinadas, y fabricar artefactos con una precisión de unos pocos átomos.

Sin embargo, cuanto más pequeña era la escala utilizada en las investigaciones, más complicado era ver qué estaba ocurriendo. En 1981 se produjo un gran avance en la carrera por "lo enano", cuando las investigaciones llevadas a cabo por IBM lograron crear un instrumento llamado "microscopio de barrido de efecto túnel" (STM)<sup>3</sup>, que permitía captar una imagen de la estructura atómica de la materia.

### Una curiosidad

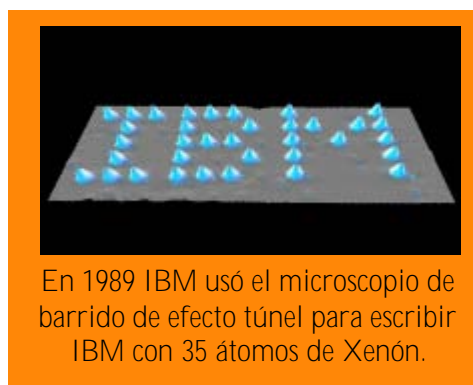
Feynman ofreció dos premios de 1.000 dólares: uno para la primera persona capaz de crear un motor con forma cúbica de 0,4 mm en cada dirección; el otro sería para quien fuera capaz de reducir la página de un libro unas 25.000 veces su tamaño (esto es, 100 nanómetros de largo).

El primero de los premios fue reclamado en menos de un año tras su discurso. El segundo premio ha necesitado 26 años para ser reclamado.

Los investigadores de IBM volvieron a ser los responsables de otro gran avance: el microscopio de fuerza atómica, que permite examinar y ver átomos individualmente.

Simultáneamente, un grupo de investigadores de la Universidad de Rice llamó la atención por el descubrimiento de una molécula de carbono que tenía forma de balón de fútbol (fullerene o buckyball). Esta estructura, de un nanómetro de diámetro, es capaz de conducir la electricidad y el calor, además de ser más dura que el acero y, a la vez, más ligera que el plástico.

En los años noventa, la historia sigue avanzando gracias al descubrimiento accidental de los nanotubos de carbono, consistentes en estructuras similares a las buckyballs, pero alargadas. Éstas muestran propiedades similares a las anteriores en cuanto a su extremada dureza, en combinación con un peso muy ligero.



En 1989 IBM usó el microscopio de barrido de efecto túnel para escribir IBM con 35 átomos de Xenón.

2. Título original: "There's Plenty of Room at the Bottom".

3. Al final del documento se incluye un glosario con la descripción de algunos términos técnicos que aparecen en el presente texto.



En los últimos años, el ritmo constante de las investigaciones en nanotecnología ha sufrido una gran aceleración gracias a algunos descubrimientos como los corrales cuánticos, los puntos cuánticos o los transistores de un solo electrón.

El entusiasmo por la nanotecnología parece contagioso. En 1999, el presidente Bill Clinton anunció una Iniciativa Nacional para la Nanotecnología con el objetivo de acelerar el ritmo de investigación, desarrollo y comercialización de las aplicaciones en este campo. La iniciativa tuvo repercusión en otros países y, en 2001, la Unión Europea aprobó un presupuesto de 1.300 millones de euros para investigación en nanotecnología en su Sexto Programa Marco. Japón, Taiwán, Singapur y China han empezado a desarrollar medidas similares para acelerar el desarrollo de esta nueva ciencia.

### *¿La nanotecnología ya está aquí?*

Tan sólo como un pequeño avance del resto del documento hay que decir que la nanotecnología es ya una realidad y que actualmente se está usando en algunos productos que ya están comercializados:

- Gafas de sol que usan tejidos de polímeros ultrafinos con propiedades protectoras y anti-reflejantes.
- Raquetas de tenis que incrementan su flexibilidad y su resistencia gracias a nanotubos de carbono.
- Cera para esquíes de alto rendimiento que incrementa la velocidad de deslizamiento.
- Catalizadores para algunos coches que ayudan a cuidar el medio ambiente.

Sin embargo, la segunda gran revolución industrial está por venir y, según los sectores en los que se ponga la vista, los plazos pueden variar por razones tecnológicas (nanoenergía) o por razones legales (nanomedicina).



Ilustración 3: Principales avances de la nanotecnología  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2. Principales áreas de aplicación

Esta sección se va a centrar en cuatro áreas de aplicación en las que se está investigando principalmente y en las que se están viendo los primeros avances:

- El diseño de nuevos **materiales**, con propiedades hasta ahora no explotadas –y a veces incluso desconocidas–, es probablemente el campo más desarrollado y de mayor impacto. La nanotecnología está permitiendo desde el desarrollo de aplicaciones cotidianas, como materiales más resistentes y flexibles para una raqueta de tenis, hasta cuestiones que todavía suenan a ciencia ficción, como el control del comportamiento individual de los electrones.
- La aplicación de la nanotecnología en la **electrónica** permite reducir el tamaño de los chips y ampliar las memorias. Se está trabajando en semiconductores y hasta en los llamados ordenadores “orgánicos”, que permitirían almacenar información y procesarla sin intervención de otros elementos electrónicos, a imagen y semejanza de la actuación del cerebro humano.
- La **medicina** es un terreno que ya ha comenzado a trabajar con la nanotecnología, pero sus verdaderos resultados se verán a más largo plazo, puesto que, por ejemplo, el ensayo de nuevos fármacos requiere sus propios tiempos. Se está investigando en fármacos dirigidos específicamente a la zona enferma del cuerpo o en el desarrollo de “tejidos” artificiales que funcionen como los orgánicos.
- En **energía**, el cuarto campo de acción, se trabaja en el desarrollo de nuevas fuentes menos contaminantes y más eficientes, así como en nuevas formas de almacenamiento de la energía.

A continuación, vamos a poner en relación estas áreas de aplicación (materiales, electrónica, medicina y energía) con las tres corrientes de investigación que se presentaban en el apartado anterior (nanotecnología por tamaño, por operación y por método de fabricación).

Mis notas

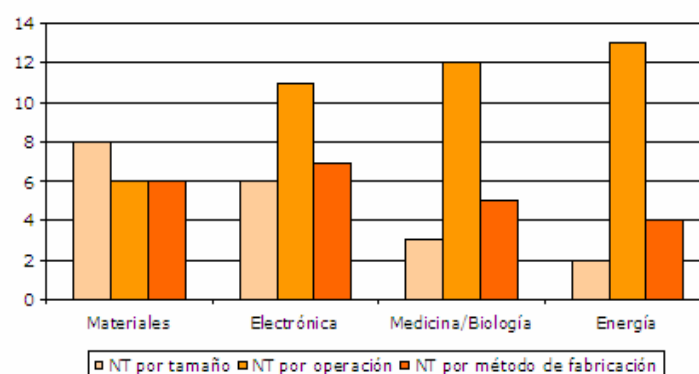


Ilustración 4: Tendencia de nanotecnología en cada área de aplicación

Fuente: *Elaboración propia*

Según la opinión de los expertos del FTF, la investigación de nuevas propiedades por la manipulación de los elementos a nanoescala será la corriente predominante en prácticamente todas las áreas de aplicación. La miniaturización sigue siendo destacable a la hora de hablar de nanomateriales y nanoelectrónica. La fabricación de nuevas estructuras parece que puede tener especial influencia en el campo de la electrónica y en la fabricación de nuevos materiales.

### 3.2.1. Materiales

#### *Es necesario poner la primera piedra*

La nanotecnología es un nuevo campo de investigación con una influencia creciente. Sin embargo, se puede afirmar que desde hace décadas existen algunos productos que ya se vienen comercializando masivamente— que utilizan nanomateriales. Así, existe ropa de esquí que contiene nanofibras que repelen el agua o bolas de tenis que usan polímeros de barro que prolongan su duración hasta dos veces más que las tradicionales.

Además de estos avances tangibles, se ha seguido investigando con un enfoque bottom-up (de abajo arriba) que permite la construcción de bloques de materiales (o estructuras) que son diseñados y ensamblados de forma controlada, consiguiendo propiedades específicas diferentes a las que hasta ahora se conocían. Así, los nanotubos, las nanopartículas o los puntos cuánticos son algunos de los principales materiales que ya se están produciendo, pero que aún deben superar algunas dificultades para ser fabricados a gran escala.

Clasificados como una de las cuatro áreas de aplicación que se van a estudiar, es necesario realizar una apreciación sobre los nanomateriales antes de ahondar más en ellos. En realidad, constituyen la base para el desarrollo del resto de las áreas: las investigaciones con puntos cuánticos permitirán un despegue en nanoelectrónica, el desarrollo de biosensores puede revolucionar la nanobiología o la creación de nuevas cerámicas más resistentes para almacenar hidrógeno puede suponer un punto de inflexión en la industria energética.

Por todo ello se va a exponer en primer lugar esta área de aplicación, que, a pesar de ser un poco más abstracta que las siguientes, constituye el punto de partida para el desarrollo del resto.

#### *Ya existen nanomateriales en el mercado*

Al igual que el usuario no necesita saber cómo están contruidos los ordenadores para aprovechar los avances tecnológicos que hacen la vida un poco más fácil, tampoco es necesario conocer la composición de todas las prendas de vestir o productos cosméticos que se utilizan diariamente para aprovecharse de las mejoras que se producen gracias a la nanotecnología.

A continuación se presentan algunos de los productos que ya están en el mercado y que incluyen mejoras fruto del desarrollo de nanomateriales:

- *Gafas que no se rayan*: existen tejidos de polímeros ultrafinos con propiedades protectoras y anti-reflejantes. Actualmente se están comercializando gafas con cristales resistentes a arañazos para uso cotidiano a un precio razonable.
- *Parabrisas que se limpian solos*: se están utilizando cristales recubiertos de nanopartículas de óxido de titanio que, en contacto con la luz solar, pueden eliminar la suciedad. Su base está en que los rayos ultravioleta de la luz reaccionan con las nanopartículas de óxido de titanio generando radicales que oxidan la materia orgánica y eliminan las incrustaciones de suciedad. Así, al verter agua sobre el parabrisas, en lugar de formarse gotas, se extiende uniformemente por la superficie del cristal, llevándose a su paso la suciedad.
- *Prendas de vestir que no se arrugan ni se manchan*: ya es posible ahorrar dinero en la tintorería gracias a las corbatas que repelen la suciedad o a las camisas que no necesitan plancha. Además, se puede comprar un anorak para esquiar que, gracias al uso de unas nanofibras, está diseñado a prueba de agua y de viento.
- *Equipamiento deportivo que ayuda a ser más competitivo*: raquetas de tenis más flexibles, pero también más resistentes, gracias a los nanotubos de carbono, que son ya una realidad. También está disponible actualmente una nueva cera para esquíes que mejora el rendimiento gracias al endurecimiento de la superficie y a la mayor capacidad de deslizamiento que aporta.
- *Productos cosméticos más eficaces y protectores*: L'Oreal comercializa unas lociones que están granuladas por debajo de 50 nm, con lo que permiten que pase la luz y, por tanto, aportan una mayor sensación de pureza y limpieza. También existen cremas anti-arrugas que, gracias a nanocápsulas de polímeros, son capaces de distribuir eficientemente agentes activos como las vitaminas. Algunas cremas solares usan nanopartículas de dióxido de titanio, que aportan la misma protección que las tradicionales frente a los rayos UVA, pero que, al extenderlas sobre la piel, no se quedan blancas.

### *Otros avances más difíciles de aplicar*

Cuando se habla de nanotecnología, se lee algún artículo o se escucha algo en la radio o en la televisión, es casi imposible que no aparezcan las palabras nanotubo o nanopartícula. Estos términos, aunque son complicados de entender al estar muy orientados al mundo científico, constituyen la base de muchos de los avances que se están investigando actualmente.

La ilustración 5 muestra cómo los términos "nanotubos de carbono" y "nanopartículas" son los que más veces aparecen en artículos de prensa publicados durante los años 2004 y 2005.

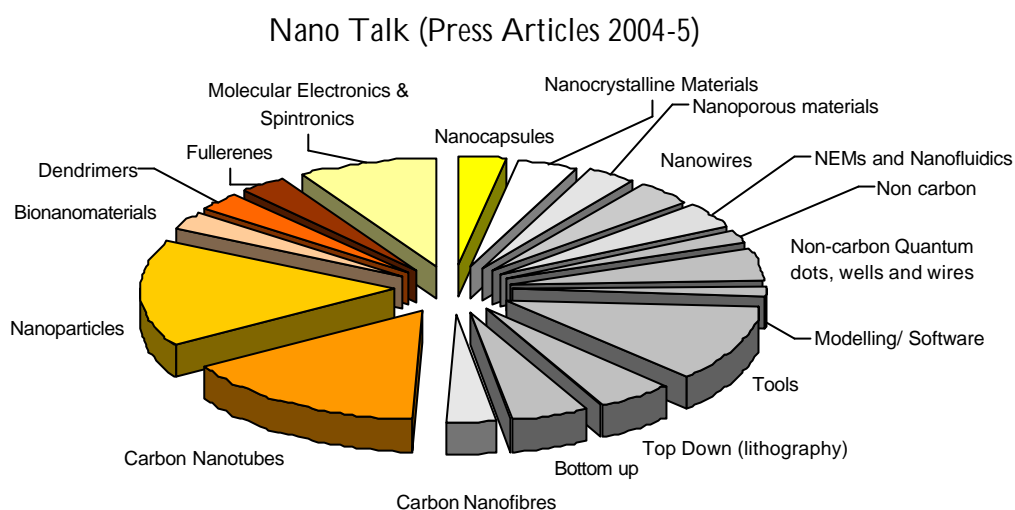


Ilustración 5: Términos publicados en prensa sobre nanotecnología

Fuente: Científica.

A continuación vamos a repasar cuáles son estos nanomateriales que se están desarrollando actualmente y cuáles son sus aplicaciones probables, lo que, como veremos, nos llevará a hablar de nanoelectrónica, nanomedicina y nanoenergía.

### *Nanotubos de carbono*

Normalmente se hace referencia a los nanotubos como si fueran una única estructura perfectamente definida. Sin embargo, hay muchos tipos de nanotubos, con diferentes tamaños, formas y, consecuentemente, propiedades.

Inicialmente, se puede decir que los nanotubos son estructuras cilíndricas de láminas de grafito con una dureza<sup>4</sup> cien veces mayor que la del acero y, al mismo tiempo, seis veces más ligeras. Además, tienen otras propiedades nada despreciables: son unos conductores del calor tan eficientes como el diamante, pueden ser conductores de la electricidad tan eficaces como el cobre o pueden tener propiedades de semiconductores.

La clasificación que se maneja comúnmente es la que divide estas estructuras en función del número de capas: nanotubos monocapa (single wall nanotubes, SWNT), que consisten en un único cilindro, y nanotubos multicapa (multiple wall nanotubes, MWNT), que están compuestos por cilindros concéntricos.

Las propiedades descritas más arriba se refieren a los nanotubos de una sola capa (SWNT), mucho más difíciles de crear que los nanotubos multicapa. De hecho, éste es el primer problema para poder llegar a producirlos con economías de escala. El equipamiento actual no puede ser escalado, por lo que la única forma de producir a

4. La dureza entendida como resistencia a la tensión; es decir, la capacidad de resistencia frente a una fuerza de estiramiento sin romperse.

mayor escala es construir más máquinas para fabricar nanotubos, lo cual no ayuda a reducir el precio.

El segundo problema que se plantea en la fabricación de nanotubos es la necesidad de utilizar generalmente para su producción un catalizador metálico, lo que provoca la contaminación de las propiedades originales de este nanomaterial.

Existen otros materiales, las nanofibras, que, aunque también se suelen denominar nanotubos, no tienen la misma estructura, por lo que sus propiedades tampoco son tan espectaculares. En cambio, parece que éstas son más fáciles de producir, por lo que actualmente están siendo de gran interés para industrias como productoras de cerámicas, metalurgia, electrónica, dispositivos ópticos o almacenamiento de energía, entre otras.

#### Conocer un poco más

Los nanotubos son, básicamente, estructuras moleculares constituidas por redes hexagonales curvadas y cerradas que normalmente están cerradas en los extremos con una forma semiesférica, aunque los extremos se pueden eliminar.

Estas terminaciones en forma de gorra se construyen a base de combinaciones de pentágonos y hexágonos. Por esta razón, los nanotubos son considerados los primos hermanos de las *buckyballs* o *fullerenes*, que son moléculas esféricas hechas con 60 átomos de carbono que parecen una pelota de fútbol.

Algunas de las aplicaciones de los nanotubos que se están investigando actualmente son las siguientes:

- *Sustitutos de huesos*: los nanotubos, gracias a su fuerza, flexibilidad y poco peso, podrían servir como andamios capaces de soportar los huesos y ayudar a los pacientes de osteoporosis.
- *Aparatos basados en campos de emisión*: se están desarrollando pantallas para televisores u ordenadores basadas en nanotubos gracias a sus propiedades, como, por ejemplo, brillante emisión de campos. También se podrían usar como fuentes de rayos X para aplicaciones médicas.
- *Supercondensadores*: son estructuras de nanotubos, perfectamente ordenados, que permiten un almacenamiento más eficiente de la energía.
- *Nanosensores*: los nanotubos semiconductores cambian su resistencia eléctrica cuando son expuestos a alcalinos, halógenos u otros gases a temperatura ambiente, lo que permite pensar en una posible producción de sensores químicos mucho más potentes que los actuales.

■ *Almacenamiento de hidrógeno e iones:* los nanotubos podrían almacenar hidrógeno en su interior e ir dispensándolo gradualmente en pequeñas células de combustible. Igualmente, podrían contener iones de litio que podrían dar lugar a baterías de larga duración.

■ *Molinos de viento más potentes:* se está explorando la utilización de nanotubos incrustados en la resina con la que se fabrican las palas de los molinos de viento de los parques eólicos para así poder reducir el peso de las palas y aumentar su longitud, de manera que sea posible fabricar molinos de mayor tamaño y potencia.

■ *Materiales superduros:* los nanotubos incrustados en otros compuestos pueden proporcionar a los materiales una fortaleza que puede mejorar considerablemente la seguridad para las personas. Por ejemplo, se podrían usar en la fabricación de coches, de forma que podrían absorber el impacto en una colisión, o en la construcción de vigas que fueran más flexibles ante los efectos de un terremoto.

### *Nanopartículas*

Las nanopartículas, al igual que sucede con los nanotubos, engloban una gran variedad de conceptos que en ocasiones podrían ser descritos con otros términos, como es el caso de los puntos cuánticos que veremos más adelante.

Desde antiguo, las nanopartículas han sido utilizadas por los ceramistas chinos. Además, durante décadas se han estado produciendo 1,5 millones de toneladas de negro de carbón, que es una de las nanopartículas más abundantes, si bien es cierto que el uso de estos materiales naturales se hacía de modo inconsciente y sin entender sus propiedades como nanomateriales.

#### **Una curiosidad**

En 1885, la compañía de neumáticos B.F. Goodrich decidió fabricar ruedas negras para evitar que se notara la suciedad (hasta ese momento eran de color blanquecino debido al caucho). Para ello añadió negro de carbón, un material de carbón que tiñe el caucho y le da un color negro. Para sorpresa de esta compañía, se descubrió que las ruedas así fabricadas eran hasta cinco veces más resistentes que las ruedas no coloreadas.

Los neumáticos de hoy día son más sofisticados, con docenas de capas y refuerzos de acero, pero el negro de carbón sigue siendo uno de sus componentes principales.



Los dos principales factores que influyen en el paso de las micropartículas a las nanopartículas y que, por tanto, proporcionan propiedades especiales son los siguientes:

- *La disminución del tamaño de las partículas hace que actúen preferentemente los efectos cuánticos.* Esta transición de la física clásica a la física cuántica no es muy gradual, sino que, una vez que las partículas alcanzan un determinado tamaño (por disminución), comienzan a comportarse según la mecánica cuántica (véanse más adelante los puntos cuánticos).
- *Incremento de la relación de superficie/volumen.* Tener una superficie muy amplia, en un volumen reducido, es un factor crítico en el funcionamiento de los catalizadores u otras estructuras, como los electrodos, que permiten la mejora del rendimiento de baterías u otras células de combustible. Algunos nanocompuestos generados con interacciones entre nanopartículas y otros materiales presentan propiedades especiales que incrementan la resistencia de estos compuestos o su resistencia al calor.

Sin embargo, algunas de las propiedades de las nanopartículas no se pueden predecir teniendo en cuenta sólo estos dos factores. Por ejemplo, existen unas nanoesferas de silicio perfectamente formadas que no sólo son más duras que el silicio, sino que además se consideran uno de los materiales más duros que se conocen, entre el zafiro y el diamante.

Las nanopartículas están avanzando con descubrimientos casi diarios en muchos frentes. Es el caso de los biosensores o las partículas con base de hierro contra tejidos cancerosos. La biomedicina es uno de los campos más prometedores de potenciales aplicaciones.

En la industria medioambiental existen también muchas expectativas, puesto que ya se está trabajando con nanopartículas capaces de limpiar sitios contaminados y eliminar elementos tóxicos contaminantes.

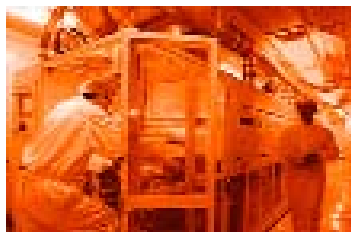
Mis notas

A mitad de camino entre la medicina preventiva y la industria textil, está a las puertas de ser comercializado un tejido en el que se ha adherido una miríada de nanopartículas que forman una barrera entre el polen y los huecos de la tela, con lo que ayudan a impedir que el polen se pegue a ésta.

Adicionalmente, el hecho de que las nanopartículas tengan una dimensión por debajo de la longitud de onda de la luz hace que sean transparentes y, por tanto, puedan tener distintas aplicaciones en el campo de la *cosmética*.

### *Puntos cuánticos*

El punto cuántico se podría definir como una partícula de materia tan pequeña que la adición de un único electrón produce cambios en sus propiedades. El atributo *cuántico* sirve para recordar que el comportamiento del electrón en tales estructuras debe ser descrito en términos de teoría cuántica.



Los puntos cuánticos (*Quantum Dots*) son denominados así porque su tamaño nanométrico provoca un confinamiento cuántico de los electrones en su estructura. Fabricados de material semiconductor y con sólo unos cientos de átomos, cuando son excitados, los puntos cuánticos emiten luz en diferentes longitudes de onda dependiendo de su tamaño, por lo que son extremadamente útiles como marcadores biológicos de la actividad celular.

La estructuración de la materia en puntos cuánticos provoca la aparición de algunas propiedades que pueden ser controladas a voluntad. A continuación se describen algunas de esas propiedades y sus posibles aplicaciones:

- *Emisores de luz:* al ser iluminados, los puntos cuánticos emiten luz en una longitud de onda muy específica que depende del tamaño del punto cuántico. Actualmente, algunas moléculas son “fotografiadas” gracias a moléculas fluorescentes con tintes orgánicos, pero que tienen la limitación de no poder usar más de tres tintes simultáneamente porque se solapan. El uso de puntos cuánticos supondría un gran avance, ya que permitiría imágenes a todo color (poniendo puntos cuánticos de distintos tamaños) a partir de una fuente de luz con una longitud de onda única.
- *La optoelectrónica es otra aplicación inmediata:* con los puntos cuánticos de materiales semiconductores, como el arseniuro de indio y fosforo de indio, se fabrican diodos láser emisores de luz más eficientes que los actuales lectores de CD o de códigos de barras.
- *Criptografía cuántica:* se pueden embeber puntos cuánticos invisibles a simple vista en billetes o documentos que, expuestos a una luz ultravioleta, hagan visible alguna marca. Ésta es una de las aplicaciones en la industria de la seguridad.
- *Informática cuántica:* éste es el concepto más ligado a los puntos cuánticos y donde se están realizando grandes esfuerzos en investigación y búsqueda de aplicaciones. Los ordenadores cuánticos, si algún día se logra descubrir la forma de no destruir la información almacenada en los bits cuánticos al interactuar con ellos, serán un gran salto en cuanto a la velocidad de proceso, ya que incrementan exponencialmente la capacidad actual de los ordenadores.

### *Otros nanomateriales*

A continuación se va a exponer una breve descripción de otros nanomateriales ya existentes y que se están aplicando en avances próximos a su comercialización:

- Los *materiales nanoestructurados* son metales o cerámicas hechas a partir de nanocristales. La reducción de los cristales para crear estructuras provee a estos materiales de propiedades estructurales distintas a las de los metales o cerámicas hechas a escala normal. Una posible aplicación es el almacenaje de hidrógeno.

- Las *nanocápsulas* se pueden definir como nanopartículas huecas, en las que se pueden añadir distintos tipos de sustancias. Una de sus principales aplicaciones se dirige hacia la administración de fármacos, con la ventaja de llegar exactamente al objetivo marcado y, por tanto, evitar posibles efectos no deseados de los fármacos en células sanas.
- Los *materiales nanoporosos* tienen como características principales que son catalizadores, absorbentes y adsorbentes. Actualmente se utilizan filtros con nanoporos incorporados en los vehículos, ya que pueden reducir la contaminación y el consumo de combustible.
- Los *fularenos (fullerenes o buckyballs)* tienen propiedades antioxidantes, presentan una alta tolerancia a sistemas biológicos y son superconductores a temperaturas muy bajas. Actualmente se están utilizando como lubricantes o como células solares, entre otras aplicaciones.
- Los nanocables son cilindros sólidos (a diferencia de los nanotubos, que están huecos) con un diámetro de entre 10 y 100 nanómetros. Debido a sus propiedades eléctricas, ópticas y magnéticas, se están aplicando principalmente en la construcción de instrumentos nanoescalares electrónicos y ópticos.
- Los dendrímeros (*dendrimers*) son moléculas sintéticas formadas a partir de un proceso de fabricación a nanoescala, cuya estructura tridimensional muy ramificada permite muchas funcionalidades diversas y una gran versatilidad. Los primeros experimentos con dendrímeros iban dirigidos hacia la electrónica, ya que al parecer podrían alterar el comportamiento de los semiconductores. Actualmente se está investigando su aplicación en la protección del medio ambiente, ya que pueden actuar como "atractores/cepos" de los iones de metal, que son contaminantes, y así limpiar el aire o el agua. También se está estudiando la utilización de dendrímeros como vehículos para la administración de fármacos.

En términos generales, todos los nanomateriales que se han visto en este capítulo proporcionan grandes posibilidades de desarrollo de aplicaciones que pueden revolucionar los distintos mercados. Sin embargo, es necesario dar un paso en la escalabilidad de la producción para que las empresas puedan afrontar los costes de fabricación y dar el siguiente paso en la cadena de valor hacia la industrialización.

### *Los principales apoyos institucionales a los nanomateriales*

El progreso en las investigaciones sobre nanomateriales va a depender en gran parte de la implicación de los gobiernos, por lo que su apoyo mediante la creación de plataformas va a suponer un impulso indudable.

### *Estados Unidos*

Estados Unidos integra sus investigaciones en nanomateriales en su plataforma National Nanotechnology Initiative<sup>5</sup>, cuyos objetivos en el capítulo de materiales son los siguientes:

- Realizar un programa de I+D que permita expandir el conocimiento y el entendimiento sobre el comportamiento de los materiales.
- Investigar sobre el desarrollo de los instrumentos y métodos que faciliten la medición, caracterización y prueba de los nanomateriales, así como la vigilancia de sus consecuencias.
- Proporcionar la formación y las infraestructuras adecuadas para el estudio de los nanomateriales.

### *Europa*

Europa proporciona soporte a las investigaciones que se están realizando sobre nanomateriales mediante su plataforma EuMat (European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies)<sup>6</sup>. Los objetivos principales del EuMat son los siguientes:

- Garantizar la implicación de la industria y otros agentes en el establecimiento de las prioridades europeas de I+D en el área de materiales y tecnologías avanzadas.
- Mejorar la coherencia entre los proyectos europeos existentes y futuros, introduciendo "cambios radicales" y asegurando el "desarrollo sostenible" en el sector de materiales y tecnologías relacionadas.
- Formación interdisciplinar e innovación en la tecnología.

### *España*

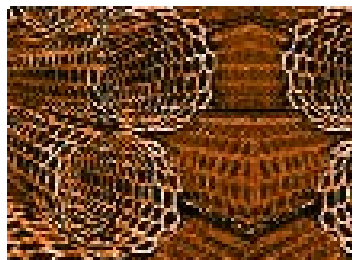
En España nace EuMat-Spain<sup>7</sup> como "plataforma nacional" de EuMat, con el objetivo de hacer llegar a la Comisión Europea los intereses y las líneas prioritarias de I+D+i del Sistema de Ciencia, Tecnología y Sociedad español.

## 3.2.2. Electrónica

### *La miniaturización necesita otro enfoque*

La industria de la electrónica lleva muchos años inmersa en un proceso de miniaturización. En 1965 se formuló la Ley de Moore, según la cual el número de transistores en un ordenador se duplica aproximadamente cada 18 meses. Esta ley se sigue cum-

5. Página web: [www.nano.gov](http://www.nano.gov).  
6. Página web: [www.eumat.org](http://www.eumat.org).  
7. Página web: [www.eumatpain.org](http://www.eumatpain.org).



pliendo hoy día, pero parece que los límites de las tecnologías basadas en el silicio están cada vez más cerca.

En este mundo de miniatura comienzan a tener importancia las leyes de la física cuántica, según las cuales el comportamiento de los electrones se basa en probabilidades. Esto es algo muy difícil de controlar para los ingenieros, a los que no les gusta encontrar un 0 cuando debería haber un 1, sin hablar de las dificultades que presenta la manipulación de los átomos.

Así, como la nanotecnología aún está en una etapa temprana, la nanoelectrónica todavía se sustenta sobre su inmediato antecesor: la microelectrónica.

La microelectrónica, que se puede definir como el desarrollo de componentes electrónicos de tamaño microscópico, ha alcanzado una sofisticación tecnológica y un desarrollo industrial de gran dimensión a lo largo de la última década del siglo XX. En la actualidad, debido a la extrema miniaturización que se está consiguiendo en los componentes, se puede empezar a hablar de nanoelectrónica.

Sin embargo, la nanoelectrónica va más allá. Se define como la investigación, fabricación, caracterización y aplicación de dispositivos de electrones funcionales con una dimensión por debajo de los 100 nanómetros. Esto permitiría utilizar las propiedades cuánticas, que, en el momento en el que se controlen, podrían proporcionar beneficios como el incremento de la velocidad de procesamiento, el aumento de la capacidad de almacenamiento y la disminución ostensible del tamaño de cualquier componente o equipo tecnológico.

Según la Comisión Europea<sup>8</sup>, "el mercado mundial de la nanoelectrónica representa hoy miles de millones de euros y es el motor de todo lo que se hace hoy en nanotecnología". Se estima un desarrollo que conlleve múltiples aplicaciones que posiblemente desemboquen en una revolución industrial. Así, el tiempo de procesamiento y el tamaño de los dispositivos disminuirán considerablemente, mientras que la potencia de los ordenadores y los transistores para uso en teléfonos, coches, aparatos domésticos y maquinaria industrial controlados por microprocesadores aumentará.

En la actualidad, la nanoelectrónica ya empieza a ver resultados en aplicaciones diversas que se pueden encontrar en etapas avanzadas de industrialización o ya comercializadas en el mercado.

### *La nanoelectrónica en nuestras vidas*

Hoy día la nanoelectrónica está en proceso de inmersión en nuestra sociedad, aunque no somos plenamente conscientes del uso que podríamos estar haciendo de ella en dispositivos de uso cotidiano. A continuación se muestran diferentes tecnologías desarrolladas que ilustran en qué estado se encuentra actualmente la nanoelectrónica.

8. Publicación de la Dirección General de Investigación de la Comisión Europea dentro de su iniciativa "La investigación europea en acción".

■ *Pantallas más brillantes, más ligeras y que ahorran energía:* ya está en el mercado la tecnología OLED (*Organic Light-Emitting Diode*), que permite conseguir imágenes más brillantes, en dispositivos más ligeros, con menor consumo energético y ángulos de visión más amplios. Se aplica en pantallas de ordenadores portátiles, cine, teléfonos móviles, salpicadero de automóviles, sistemas de localización GPS o cámaras digitales. Se espera que esta tecnología sustituya a las pantallas de cristal líquido (LCD) gracias a su superior calidad de imagen.

■ *¿Adiós a las baterías?:* Toshiba presentó en septiembre de 2005 dos modelos de reproductores MP3 revolucionarios. Se trataba de los primeros reproductores capaces de funcionar sin pilas y sin baterías gracias a las nanocélulas de combustible. Mediante la combinación de hidrógeno y oxígeno, las células de combustible pueden producir suficiente energía eléctrica, emitiendo únicamente agua pura como residuo. Ahí reside su gran atractivo, ya que producen una energía limpia que no daña el medio ambiente. Esta nueva tecnología llamada DMFC (*Direct Metanol Fuel Cell*) se aplica también en teléfonos móviles u ordenadores portátiles.

■ *Tinta que cambia de color según nuestras preferencias:* "la tinta electrónica" es un avance basado en una serie de cápsulas que contienen partículas blancas y partículas negras cargadas con distinta polaridad. Mediante la aplicación de una corriente electromagnética, estas partículas se colocan en una u otra posición, mostrando un color u otro. El invento tiene toda clase de aplicaciones, desde vallas de publicidad o señales de tráfico hasta papel de pared para decorar la casa, cuyo diseño podría variar según la voluntad de su propietario. Incluso sería posible su utilización en ropa de camuflaje, cuyo diseño se podría transformar según el contexto. En comparación con las ya existentes, esta nueva tecnología presenta grandes ventajas en términos de nitidez de lectura, bajo consumo de energía y versatilidad del material de aplicación.

■ *Chips mucho más rápidos:* en mayo de 2002, IBM anunció la creación de transistores de nanotubos de carbono que mejoran el rendimiento de los mejores prototipos de transistores disponibles. Los transistores son los elementos a partir de los cuales se construyen los chips informáticos. La nueva tecnología supone una gran ventaja al eliminar el problema de la producción excesiva de calor que presentan los actuales chips cuando superan cierta velocidad; además, proporciona una mayor velocidad al ser mucho menor la distancia que la información tiene que recorrer.

■ *Tarjetas de memoria del tamaño de un sello que pueden contener 25 DVD:* el proyecto *Millipede* (Milpiés), llevado a cabo por científicos de IBM, consiguió crear un sistema que logra una densidad de almacenamiento de un billón de bits (un terabit) en una pulgada cuadrada. Esta asombrosa densidad de almacenamiento, capaz de acumular 25 millones de páginas de texto impresas en una superficie similar a la de un sello de correos, utiliza menos energía que los sistemas tradicionales de almacenamiento y permite reescribir.

### ¿Por dónde se sigue investigando?

El ambiente eminentemente cambiante en el que se desarrolla la industria de la electrónica hace necesario seguir progresando y anticiparse a las barreras que se pueden plantear en el corto y medio plazo.

A continuación se presentan algunas de las investigaciones que se están llevando a cabo y que la industria electrónica espera poder aplicar en los próximos años.

Así, en el campo de los *dispositivos para las comunicaciones* se están realizando investigaciones que mejoren los medios actuales:

- Se están desarrollando actualmente teléfonos móviles a nanoescala, muy lejos ya del teléfono que Alexander Graham Bell inventó. Estos *nanoteléfonos* consisten en transmisores de radio cuyo tamaño es igual al diámetro de un cabello humano. Además, debido a que los amplificadores de frecuencia de radio utilizados actualmente en teléfonos móviles son filamentos de tungsteno calientes cuya eficiencia sólo alcanza el 10%, los investigadores pretenden sustituirlos por nanotubos de carbono altamente eficientes, que consumen menos energía.
- Se está trabajando también en la fabricación de *nanobrújulas*, que, una vez conectadas con sistemas GPS, permitan utilizar el teléfono para detectar la localización exacta del usuario. Igualmente, se están desarrollando *nanomicrofonos* para mejorar la filtración de interferencias y la recepción de sonidos deseados.

En lo que a *redes de comunicación* se refiere, también se han dado pasos importantes:

- Se ha demostrado que la información de Internet puede ser procesada a la velocidad de la luz gracias a un chip de silicio que puede controlar, de manera eficiente, un haz de luz portador de información. La luz, a través de fibras ópticas, ha demostrado ser la mejor alternativa para la transmisión de grandes volúmenes de información a gran velocidad. Sin embargo, el procesamiento y tratamiento de la información se realiza todavía convirtiendo las señales ópticas en eléctricas, lo que reduce la velocidad e incrementa el número y el coste de los componentes que se utilizan<sup>9</sup>.

La informática se está viendo también favorecida por las numerosas aplicaciones potenciales de la nanoelectrónica, como las referidas a la *informática cuántica*

- Mientras la cada vez mayor potencia de los chips lleva hacia los límites de la tecnología actual, muchos investigadores apuestan por un futuro de *espintrónica*, una tecnología a nanoescala en la que se transmite información no sólo por la carga del electrón, como se realiza actualmente, sino también por el giro de éste.

9. En 2004, científicos de la Universidad de Cornell (USA) y del Centro de Tecnología Nanofotónica de la Universidad Politécnica de Valencia demostraron por primera vez el control completamente óptico de un conmutador fotónico en un micro-nanochip de silicio, lo que equivale a un transistor fotónico de Silicio (Nature, vol. 431, pp. 1081-1083, 2004).

La electrónica actual codifica los datos informáticos basados en un sistema binario de unos y ceros, dependiendo de si un electrón está presente o no. Sin embargo, por principio, la dirección en la que un electrón gira también puede ser utilizada como información. De esta forma, la espintrónica puede permitir a los ordenadores almacenar y transferir el doble de datos por electrón.

Si se consigue encontrar una forma fiable de controlar y manipular estos giros, los dispositivos espintrónicos (como, por ejemplo, los transistores Spin-FET) podrían ofrecer velocidades más altas de procesamiento de datos, consumo de energía más bajo y muchas más ventajas en comparación con los chips convencionales, incluyendo la capacidad de realizar computaciones cuánticas realmente innovadoras.

#### Una curiosidad

No intente buscar Silicon Valley en un mapa. No existe. Se trata de un apodado a la zona del valle de Santa Clara (desde Palo Alto hasta San José, pasando por Mountain View, Sunnyvale y Cupertino). El origen del apodo es el silicio (silicon), el material base para los chips que se construyen en Silicon Valley.

■ Esta tecnología está estrechamente relacionada con la informática cuántica, ya que se baraja la posibilidad de aprovechar las propiedades del giro del electrón para futuros *ordenadores cuánticos*, en los que el giro pueda servir como *qubit* o *bit cuántico*.

La alternativa para que el progreso de la informática no se detenga ante la imposibilidad de que la tecnología convencional opere a escala atómica es crear dispositivos que aprovechen las propiedades cuánticas. En definitiva, lo que se conoce como "ordenadores cuánticos".

En este sentido, se han desarrollado programas específicos para estos ordenadores que permiten, por ejemplo, buscar información en una base de datos. La diferencia es que, en lugar de indagar verificando uno por uno todos los elementos de la base de datos como hace un ordenador convencional, el ordenador cuántico comprobaría todos a la vez, reduciendo el tiempo de búsqueda. Para lograr funciones como ésta, estos ordenadores cuánticos almacenan la información en forma de *qubits*, que son estados cuánticos (combinación de ubicación y celeridad de las partículas que es imposible medir con absoluta precisión) que representan unos y ceros. Los ordenadores actuales, como la electrónica en general, procesan la información en forma de ceros y unos, según salga la electricidad o no de los transistores. Lo extraordinario en los ordenadores cuánticos es que el átomo puede encontrarse en una superposición de ambos estados, es decir, en situación 0 y 1 al mismo tiempo. En un solo *qubit* se podría almacenar una cantidad ilimitada de información jugando con los coeficientes de la superposición cuántica de los estados 0 y 1. Esto permitiría poner a trabajar a los *qubits* como un ingente conjunto de ordenadores en paralelo, aumentando su capacidad de almacenamiento y procesamiento de información a niveles extraordinarios.

Mis notas



Los ordenadores cuánticos suponen también una nueva forma de calcular. Esto significa que un ordenador cuántico podría descifrar información militar oculta tras una clave de 1.024 bits (la habitual para estos asuntos) en cuestión de horas, cuando, utilizando unos ocho mil ordenadores actuales, tardaríamos más de 800 millones de años.

La gran barrera de la informática cuántica es la interacción existente entre un estado cuántico y su entorno: cualquier modificación de éste transforma el sistema cuántico. Expertos de todo el mundo investigan ya la viabilidad de la informática cuántica.

Investigaciones sobre informática cuántica y espintrónica han concluido en el desarrollo de nuevas *formas de almacenaje* que nos permitan un uso más eficiente:

- Se encuentra en fase de investigación bastante avanzada la *memoria MRAM* (Magnetic Random Access Memory), cuya traducción literal sería “memoria magnética de acceso aleatorio”. Esta nueva memoria emplea principios de magnetismo relacionados con la espintrónica (y no la carga eléctrica, como las actuales) para almacenar información y poder recuperarla a gran velocidad. Supone un gran avance con respecto a la memoria RAM actual, ya que ésta necesita que, con una determinada periodicidad, se reescriba en cada celda de memoria su contenido actual, mientras que la memoria MRAM mantiene la información en bits dentro de minúsculos campos magnéticos. La MRAM supone un gran ahorro de energía al no necesitar ningún tipo de alimentación eléctrica. Asimismo, no pierde datos cuando se apaga el terminal y es más rápida y resistente. Todo esto hace que su aplicación resulte muy atractiva para distintos tipos de aplicaciones, desde ordenadores hasta cámaras digitales.

- Asimismo, se trabaja también en una nueva *tecnología de almacenamiento* que permite el almacenaje de hasta 150 gigabytes de datos en un medio similar a los actuales DVD.

Otra de las investigaciones que se están realizando gira en torno a la *nanoelectrónica biomolecular* y, en concreto, la aplicación del ordenador de ADN en el tratamiento de enfermedades o en la búsqueda de átomos o moléculas seleccionadas:

- El *ordenador de ADN*: se puede definir como un nanoordenador que usa ADN (ácido desoxirribonucleico) para almacenar información y realizar cálculos complejos<sup>10</sup>. La principal ventaja de su utilización en la resolución de problemas complejos es su capacidad de cotejar todas las posibles soluciones de una vez, a diferencia del procedimiento utilizado por la mayoría de los ordenadores actuales, que resuelven los problemas uno a uno. Esta inmensa capacidad de cálculo paralelo se acentúa con la gran densidad de información existente en la molécula de ADN, ya que más de diez trillones de estas moléculas podrían ocupar simplemente un centímetro cúbico. De esta forma, un ordenador de ADN podría contener diez terabytes de datos y una capacidad de diez trillones de

10. En 1994, un científico experto en informática de la University of Southern California, Leonard Adelman, sugirió que el ADN podría ser usado para resolver problemas matemáticos complejos.

procesos de cálculo al mismo tiempo. Los principales problemas de la utilización de ADN en informática son la transformación del problema que hay que resolver en moléculas, la síntesis de las posibles soluciones y la manipulación de las posibles moléculas-soluciones en medios acuosos. Esto hace que de momento sólo se hayan resuelto problemas relativamente sencillos para la inmensa capacidad de cálculo que potencialmente tiene el ADN.

Otro campo de investigando es la *grabación por imagen* para poder mejorar la fabricación de los circuitos de los chips:

- La *litografía* es una tecnología utilizada para definir e imprimir circuitos en los chips de los ordenadores. Para poder incluir más transistores en un mismo chip, los fabricantes de semiconductores deben imprimir figuras cada vez más pequeñas. La nanolitografía o litografía extrema-ultravioleta (EUV) será la alternativa a la tecnología actual de impresión de chips, la cual se espera que alcance sus límites en la próxima década. Similar a un pintor que necesita un pincel minúsculo para pintar líneas finas, la industria de los semiconductores debe utilizar longitudes de onda de luz cada vez más cortas para imprimir circuitos más pequeños en un chip.

Entre *otras investigaciones* en nanoelectrónica que se están llevando a cabo con una estimación de éxito más a largo plazo destaca la ingeniería neuromórfica:

- La *ingeniería neuromórfica* es una de las investigaciones que se están realizando en paralelo a la nanoelectrónica, ya que se sirve de ésta para poder desarrollar aplicaciones artificiales y sensoriales a escala nanométrica.

Los sistemas biológicos realizan muchas tareas de procesamiento complejas con una eficiencia que aún no está al alcance de los sistemas artificiales. Por este motivo, la biología constituye un buen referente para la implementación de sistemas que realicen tareas que los seres vivos desarrollan de forma natural, como es el caso de la visión, el aprendizaje de movimientos, la coordinación motora, etc. Los proyectos de ingeniería neuromórfica tratan de abordar en los sistemas artificiales numerosos retos que son inherentes a los sistemas naturales. Así, se investiga en el desarrollo de dispositivos incorporados al espacio neuronal como si fueran una extensión de los músculos o de los sentidos, pudiendo ser dirigidos hacia un aumento sin precedentes en las sensaciones humanas y en la realización motora, cognoscitiva y comunicativa.



### Una curiosidad

La evolución de la nanotecnología podría ser comparable a la acontecida con Internet. El prefijo nano- tiene el potencial de crear un movimiento en la actividad de inversión que puede recordar a la fiebre de la era “.com”. Sin embargo, hay importantes diferencias:

- Mientras que Internet remite principalmente a la informática y la ingeniería electrónica, la nanotecnología requiere el entendimiento y la **colaboración de múltiples ciencias**, como la biología, la física, la química, la informática o la ingeniería.
- A diferencia de Internet, las compañías de nanotecnología tendrán procesos y **productos tangibles** y no se basarán únicamente en la información como mercancía.
- La combinación de los **elevados costes** del equipamiento, los numerosos conocimientos necesarios y las plataformas de propiedad intelectual es una barrera que habrá que superar para la entrada de posibles competidores que no vimos durante la era “.com”. En general, se necesita un alto nivel en el sector empresarial para la realización de inversiones inteligentes y con la suficiente información.

### Los principales apoyos institucionales a la nanoelectrónica

A continuación se muestran de forma resumida las principales iniciativas dirigidas a fomentar la nanoelectrónica en Estados Unidos, en Europa y, en particular, en España.

#### Estados Unidos

El gobierno de Estados Unidos lanzó la National Nanotechnology Initiative en el año 2000, que ha producido ya valiosos resultados en nanoelectrónica. Entre sus objetivos se encuentran los siguientes:

- Mantener una investigación y desarrollar un programa dirigido a concienciar sobre el potencial de la nanoelectrónica.
- Facilitar el paso de las nuevas tecnologías en productos electrónicos para el crecimiento económico, el empleo y otros beneficios públicos.
- Desarrollar fuentes industriales, personal cualificado e infraestructuras de apoyo para avanzar en la nanoelectrónica.
- Apoyar el desarrollo responsable de la nanoelectrónica.

### *Europa*

En Europa se ha creado una plataforma específica de nanoelectrónica llamada ENIAC (Consejo Asesor de Iniciativas Europeas en Nanoelectrónica), cuyos objetivos son los siguientes:

- Proporcionar una agenda de investigación estratégica para el sector de la nanoelectrónica, con respecto a la I+D.
- Estimular la inversión coherente y efectiva tanto pública como privada en I+D en el sector nanoelectrónico.
- Contribuir a mejorar la convergencia en la Unión Europea en acciones de I+D en nanoelectrónica.
- Promover el compromiso europeo en I+D para garantizar que Europa sea una localización atractiva para los investigadores.
- Interactuar con otras políticas y agentes a todos los niveles que influyan en la competitividad del sector, como la educación y formación, la financiación e inversión, etc.

### *España*

En España se han sentado recientemente las primeras bases de la Plataforma Nacional de Nanoelectrónica e Integración de Sistemas Inteligentes<sup>11</sup>. Esta iniciativa está respaldada por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, el Ministerio de Educación y Ciencia, y el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI).

Entre los objetivos y funciones de la plataforma destacan principalmente los siguientes:

- Elaborar un programa de trabajo que revitalice el área de actuación y genere propuestas estratégicas a medio y largo plazo con el objetivo de fomentar la competitividad y la I+D del sector.
- Potenciar la participación española en las actividades preparatorias y de lanzamiento del VII Programa Marco mediante su inclusión en la Plataforma Tecnológica Europea, en los centros europeos de excelencia y en los proyectos de coordinación de políticas nacionales (ERA).
- Elaborar las propuestas sobre las infraestructuras comunes de investigación público-privadas necesarias para incorporar las plataformas en las redes de excelencia y las plataformas tecnológicas europeas.
- Generar proyectos científico-tecnológicos singulares, estratégicos y de alta prioridad, como resultado de la interacción de los agentes que integran la plataforma.

11. Esta plataforma está promovida e impulsada por GAIA (Asociación de Industrias de las Tecnologías Electrónicas y de la Información del País Vasco), CNM (Centro Nacional de Microelectrónica), CSIC y CIDETEC (Centro de Investigación Tecnológica en Electroquímica).

- Colaborar con las Administraciones Públicas en las actividades de prospectiva y vigilancia tecnológica previstas en el Plan Nacional, dentro de la Comisión de Seguimiento y Evaluación del Área de Tecnologías y Sociedad de la Información.

### 3.2.3. Medicina/biología

En el año 1900, la esperanza media de vida era de 33,85 años para los hombres y de 35,70 para las mujeres<sup>12</sup>. La tasa de mortandad infantil era igualmente elevada, con un índice del 30%; en 1994, esta tasa se situaba en el 6,2%<sup>13</sup>.

Las mejoras en la dieta y los desarrollos de nuevos tratamientos consiguieron ampliar la visita de las personas al planeta Tierra. Médicos, investigadores, científicos y eruditos siguieron trabajando. Una lista cuasi interminable de expertos como el persistente Fleming, el revolucionario Pasteur y el genial Ramón y Cajal allanaron el camino, facilitando la comprensión y el estudio del cuerpo en una escala cada vez más reducida.

El siguiente hito lo marca la nanotecnología. Como siempre, pasará a los anales de la Historia una serie de nombres gloriosos y loados, pero esta vez, más que nunca, el mérito será de todos.

#### *Una revolución silenciosa*

En la nanobiomedicina, la revolución ha despertado silenciosamente. A pesar de su tamaño, dará mucho que hablar. Medicina y biología son dos campos muy relacionados. Según el *Diccionario de la Lengua Española*, de la Real Academia Española, se definen como sigue:

- *Medicina*: "Ciencia y arte de precaver y curar las enfermedades del cuerpo humano".
- *Biología*: "Ciencia que trata de los seres vivos".

Es obvio y previsible que dos campos tan interrelacionados sigan colaborando conforme evolucionan hacia dimensiones atómicas. De hecho, la Unión Europea asevera que "la nanotecnología en los sistemas médico y sanitario forma parte de la 'nanobiotecnología'"<sup>14</sup>.

Dentro de la nanotecnología, el sector de la medicina brinda una propuesta de valor añadido particular. El ofrecimiento de un futuro sin graves enfermedades, con curaciones que no contemplan agujas ni bisturís, es muy prometedor. Ése es su atractivo y principal gancho, del que tendrá que servirse para su desarrollo.

El gran obstáculo con el que puede encontrarse la nanomedicina no es, como pueda ser en el resto, la financiación, sino la regulación. Leyes, directivas, normas y regula-

12. Datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística: [www.ine.es](http://www.ine.es) (24 de enero de 2006).

13. Datos obtenidos de <http://www.emsf.es/rev9/ad9p12.htm> (16 de febrero de 2006).

14. NanoRoadMap Project, Pectoral Report, Health and Medical Systems, pág. 5. Autor: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, octubre de 2004.

ciones tienen en sus manos la posibilidad de impulsar o retrasar su despegue y, por consiguiente, la obtención de beneficios.

### *Los avances van poco a poco*

La nanomedicina tiene muchas aplicaciones y los avances que se han logrado hasta ahora tienen impactos muy diferentes en nuestra vida cotidiana. De hecho, hay muchas industrias involucradas, como la farmacéutica, la médica, la medioambiental o la alimentaria, pero todas persiguen un objetivo común: conseguir una mayor calidad de vida para todos, sin olvidar la consecución de beneficios para la empresa y la sociedad.

El área de aplicación de la nanomedicina que actualmente tiene más fuerza es la **administración de medicamentos**. Su rápida evolución y salida al mercado se debe a dos razones: la primera es que no son aplicaciones muy conflictivas desde el punto de vista legal; la segunda, su gran demanda. ¿Quién rechazaría un medicamento con sabor a fresa o una jeringuilla que no hace daño?

Algunas de las aplicaciones que actualmente están iniciando su proceso de comercialización son las siguientes:

- *La jeringuilla invisible*: gracias a un sensor de diagnóstico o a un nanoenvase para el medicamento, es posible llegar hasta los fluidos para administrar un medicamento o para recoger una muestra. ¡Y no hace daño!
- *La píldora intangible*: la idea es antigua y conocida, con el inhalador de dosis medida (MDI en sus siglas en inglés) para la administración de medicamentos en aerosol, que en 1956 supuso un gran avance para los asmáticos. Sesenta años más tarde se ha comercializado un inhalador que suministra desde corticoides y esteroides hasta glucosa, por ejemplo. Es un método antiguo, pero mejorado, e indoloro.

Igualmente, se están llevando a cabo avances muy significativos en el campo de la **regeneración de tejidos**:

- *Reconstrucción muscular*: el objetivo es sustituir tejidos que ya no funcionan por otros artificiales que lleven a cabo la misma función. Gracias a la nanotecnología se ha mejorado la técnica sobremanera, de forma que "se añaden vasos sanguíneos a tejido muscular cultivado in vitro, aumentando así las oportunidades de 'reparar' el tejido con éxito"<sup>15</sup>.

#### Conocer un poco más

Las fases de regeneración de un tejido son las siguientes:

- *Regeneración in vitro*: creación de biomateriales sustitutivos, compuestos por células y material artificial. "Crecen" en un molde antes de introducirlos en el cuerpo.
- *Generación in vivo*: el nuevo tejido puede ser implantado en el cuerpo, siempre y cuando el sistema inmunológico no lo rechace.

15. Página web:  
[http://www.nmti.utwente.nl/library/other/bmti\\_in\\_the\\_news\\_2005/engineered\\_tissue\\_is\\_more\\_viab.doc/](http://www.nmti.utwente.nl/library/other/bmti_in_the_news_2005/engineered_tissue_is_more_viab.doc/).

■ En otras especialidades, aunque de manera más incipiente, también se están desarrollando aplicaciones con esta técnica para regenerar estructuras óseas, cartílagos o el páncreas. Por ejemplo, se pretenden utilizar nanotubos de carbono para fortalecer los huesos en personas con osteoporosis.

Otro campo de investigación en el que ya hay avances en el mercado o en proceso de comercialización es el relacionado con el diagnóstico y la mejora de técnicas para la curación de enfermedades. Así, podemos hablar de los siguientes aspectos:

■ *Marcador fluorescente para las células enfermas*: se trata de un material fluorescente que se activa al interactuar con las células enfermas al estar unido a un biomarcador capaz de reconocer de forma selectiva proteínas asociadas con determinadas enfermedades, como el cáncer. La unión de un nanomaterial a esa proteína puede “diagnosticar” a corto plazo su grado de alcance.

■ *Fármacos quirales*: el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón ayuda a entender este concepto a través de la explicación de que “Si nos miramos a un espejo, descubriremos que, en apariencia, tenemos un plano de simetría que relaciona las dos mitades de nuestro cuerpo, con dos ojos, dos brazos, dos piernas, una nariz bien colocada en medio, etc. Esta simetría da lugar a una propiedad que se pone de manifiesto si observamos nuestras manos. Ésta consiste en que, aunque son simétricas –una es la imagen especular de la otra–, no son idénticas, lo que se puede comprobar al superponerlas o al ver que los guantes no son intercambiables. Esta propiedad se llama quiralidad”.

La quiralidad disminuye la eficacia de los fármacos, ya que, aunque las moléculas son químicamente iguales, no lo son biológicamente. El hecho de que sean asimétricas hace que su efecto sea distinto. De esta forma, el derecho suele ser el positivo y el izquierdo el negativo.

Mis notas

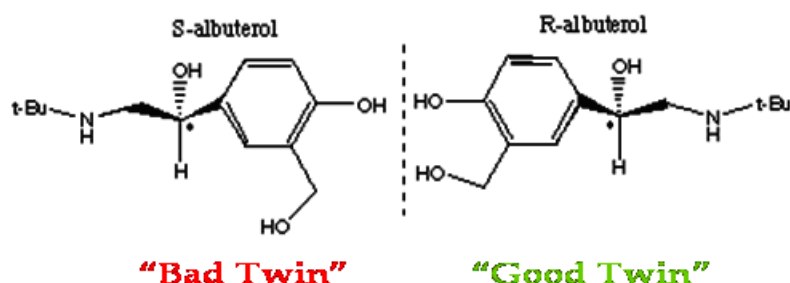


Ilustración 6: Moléculas quirales. Fuente: Presentación FTF de Brent Segal.

Gracias a la nanotecnología, esta barrera ha desaparecido. El polímero provoca una reacción estereoselectiva del fármaco, de manera que el cuerpo humano recibe sólo los componentes "positivos".

La industria de los fármacos quirales produce miles de millones al año, por lo que, aunque sea un término desconocido para el gran público, los laboratorios dedican importantes esfuerzos a la mejora de los procesos. Entre otros, se centran en la reducción de los procesos ineficientes que provocan los ingredientes quirales, que reducen la eficacia del medicamento.

### *Las aplicaciones más revolucionarias aún están por llegar*

Hoy por hoy, nos encontramos en una fase inicial en la que, de momento, todo es factible y todo puede pasar, o no. Los expertos hablan de avances médico-tecnológicos de gran envergadura, que aún están por llegar.

La base del estudio es el funcionamiento del propio cuerpo humano. Así, se intentan fabricar algunos nanocomponentes que compartan las mismas propiedades que las nanoestructuras naturales. De esta forma, se espera desarrollar nanoestructuras artificiales que capten y reparen las "heridas" del organismo humano, de la misma forma que los linfocitos actúan como defensas del cuerpo.

Hay una premisa que, si bien es cierta en todos los ámbitos de la nanotecnología, es particularmente obvia en el campo de la nanomedicina: la tecnología *nunca* es importante. Es, simple y llanamente, un medio de hacer cosas. Los pacientes nunca van a necesitar una píldora en sí misma, sino el remedio a una disfunción.

Por ejemplo, la utilización de una *nanopíldora* para la realización de un diagnóstico en sustitución de la endoscopia que se utiliza ahora no supone un cambio radical desde el punto de vista del médico, que seguirá obteniendo el mismo resultado, aunque con métodos distintos. Sin embargo, desde el punto de vista del paciente, la diferencia es abismal, ya que ¿puede existir alguien que prefiera que le introduzcan un tubo en el cuerpo frente a tomarse una simple pastilla?

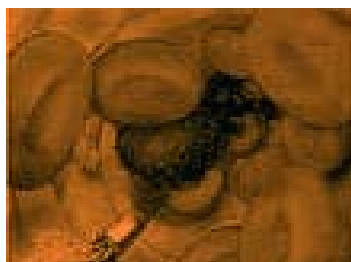
Sin embargo, no se pueden tener sólo en cuenta estos puntos de vista, ya que, desde el aspecto legal, este posible avance tecnológico es muy disruptivo. Igualmente, sin una adecuada campaña de marketing, el paciente puede mostrarse reacio a la ingestión de una píldora si no le garantizan su inocuidad.

Teniendo en cuenta todas estas apreciaciones que ayudan a situar los avances en nanomedicina en su lugar a lo largo del tiempo, a continuación se muestran algunas de las investigaciones que se están llevando a cabo actualmente:

- *El medicamento inteligente*: corticoides, analgésicos, antibióticos...; en un futuro, todos los medicamentos que hoy se ingieren por vía oral podrán ingerirse vía nanotransporte. El objetivo es atravesar la barrera sangre-cerebro y las membranas de las células para llevar el medicamento con la máxima precisión a su destino.



- *Imágenes más precisas:* la mejora en la calidad de las radiografías, ultrasonidos, tomografías o resonancias magnéticas permitirá observar las moléculas. Al conseguir información más detallada, el diagnóstico será mucho más preciso. Desde el punto de vista futurista, los avances en este campo culminarán en el diagnóstico y la terapia antes de la aparición de los síntomas. Por ejemplo, la posibilidad de obtener una radiografía a escala de una sola molécula permitirá detectar qué células están enfermas y cuáles no. En combinación con la administración de medicamentos individualizada para cada célula, se producirá una verdadera revolución médica.
- *Escayola invisible:* romperse un hueso ya no significará llevar una escayola blanca, sino invisible. Gracias a las nanofibras de colágeno, que fortalecerán las células óseas durante el proceso de recuperación y, por supuesto, serán biocompatibles, la rehabilitación tras la fractura será más rápida y llevadera.
- *Implantes más duraderos:* cabe hablar de implantes dentales, cocleares, pectorales, capilares, extramedulares, de cadera... La lista es tan larga que probablemente mirando alrededor un alto porcentaje de las personas que nos rodean lleve uno. Como resultado, esas personas verán mejorar su calidad de vida gracias a los recubrimientos biocompatibles de los implantes que han mejorado su adhesión y durabilidad gracias a la nanotecnología. Así mismo, el material de los implantes también mejora: los nanocompuestos de espuma, reconstruidos a partir de los ingredientes naturales del hueso, tienen una estructura y una composición química muy similares al hueso natural, con un alto nivel de bioactividad.
- *Cámaras de vídeo en miniatura adheridas a las gafas de un invidente:* el mecanismo del aparato consiste en capturar señales visuales que son procesadas por un microordenador situado en el cinturón y retransmitidas a unos electrodos situados en el ojo.
- *Biosensor de glucosa:* el porcentaje de diabéticos en el mundo occidental es del 6%. En un futuro próximo, los diabéticos dispondrán de un glucómetro en un biosensor molecular implantado dentro del cuerpo. ¡Adiós a las lancetas!
- *Aparatos médicos que ayudan al diagnóstico o a la curación:* se está investigando un dispositivo microfluídico para estudiar la migración de las células y el comportamiento de deformación, fundamental en la investigación del cáncer. También se están desarrollando micro-herramientas endovasculares para llevar a cabo una cirugía mínimamente invasiva.
- *Comida inteligente:* gracias a nanosensores que se adhieren a los patógenos en los alimentos, se podrá detectar si la mayonesa está estropeada, la carne está mala o la fruta se ha pasado.



- *El nanonutricionista:* ¿tiene usted falta de hierro? ¿No consume todas las proteínas que debería? En un par de lustros, la dieta inadecuada se remediará a través de un nuevo sistema nutricional, que llevará los agentes activos con más precisión a las partes deseadas del cuerpo humano.
- *El laboratorio en un chip:* un objetivo a muy largo plazo es introducir un chip subcutáneo que monitorice permanentemente los parámetros clave del cuerpo humano. Se podrá llegar incluso a predecir cambios moleculares y a prevenir que células pre-cancerígenas puedan tornar en tumor maligno.

*No es oro todo lo que reluce*

Las aplicaciones arriba mencionadas se han desarrollado a partir de avances nanométricos o nanobiológicos muy sencillos. En un futuro, tecnología muy compleja estará disponible para el gran público.

La ilustración 7 resume el estado de comercialización de la administración de medicamentos a través de la nanomedicina.

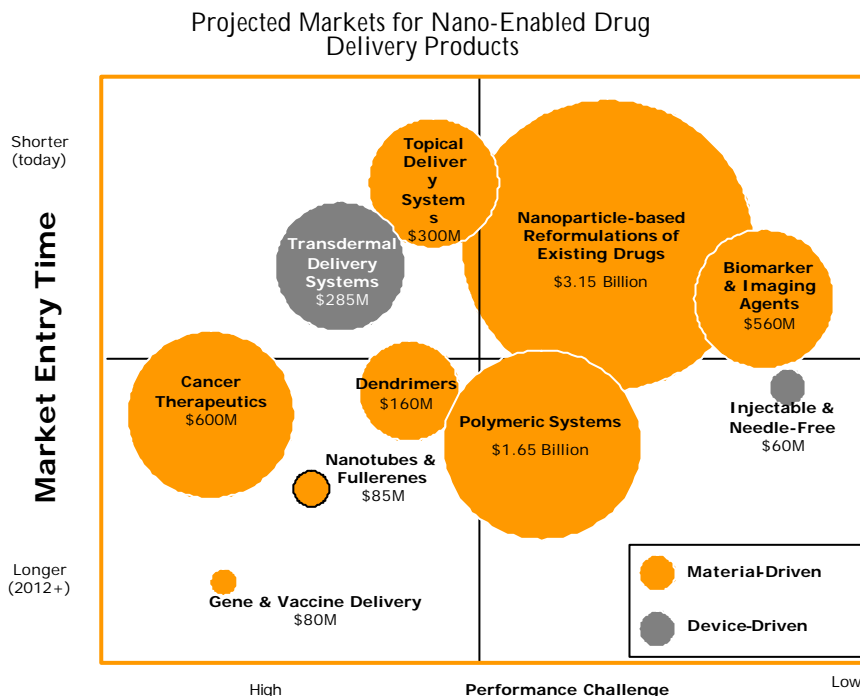


Ilustración 7: Comercialización de productos para la administración de fármacos.  
Fuente: Presentación realizada en el FTF por Michael Moradi.

Se puede vaticinar que el desarrollo de la nanobiomedicina vendrá marcado por el apoyo tanto público como privado. Sin embargo, además hay otros factores que influirán de manera definitiva.

Por un lado, la presión social tiene mucho que decir y la nanotecnología promete tratamientos individualizados, incluso a nivel celular. Si el médico dispone de información a un nivel inferior a la célula, a nivel de las proteínas será posible saber qué medicamento funciona y cuál no en cada persona.

Por otro lado, la explotación de la nanobiomedicina puede llevar a dilemas éticos complicados. Por ejemplo, la posibilidad de controlar los alimentos o las partículas que respiramos es un objetivo muy esperanzador, pero el planteamiento también deberá incluir cuestiones como ¿quién podrá permitírselo? o ¿tendremos toda la información para controlar los posibles efectos colaterales?

### *Los principales apoyos institucionales a la nanomedicina*

La nanomedicina necesita apoyo por parte del sector público para continuar creando avances que permitan mejoras en la salud. Por este motivo, los gobiernos están poniendo en marcha la creación de plataformas que ayuden a conseguirlo.

#### *Estados Unidos*

El gobierno estadounidense centra sus investigaciones en nanomedicina a través del NIH (National Institutes of Health)<sup>16</sup>, que participa en la plataforma National Nanotechnology Initiative y cuyos objetivos principales son los siguientes:

- Implantar estrategias de investigación novedosas cuyas aplicaciones sean la base para avanzar en la capacidad de la nación para proteger y mejorar la salud.
- Desarrollar, mantener y renovar a los científicos capaces de asegurar la investigación de la nación en prevenir enfermedades.
- Expandir el conocimiento en las ciencias de la medicina para aumentar el bienestar económico de la nación y asegurar la inversión pública en investigación.
- Promover el más alto grado de integridad científica y responsabilidad social en el manejo de la ciencia.

#### *Europa*

Ante el rápido crecimiento, la gran fragmentación y la falta de coordinación en nanomedicina, Europa ha identificado la necesidad de una plataforma tecnológica, European Technology Platform on Nanomedicine, que está activa desde septiembre de 2005<sup>17</sup>. Sus objetivos son los siguientes:

16. Página web: <http://www.nih.gov>.

17. Página web: [www.cordis.lu/nanotechnology/nanomedicine.htm](http://www.cordis.lu/nanotechnology/nanomedicine.htm).

- Establecer una visión y una agenda estratégica de investigación clara en esta área.
- Identificar las áreas prioritarias de investigación.
- Movilizar la inversión pública y privada.
- Disminuir la fragmentación de la investigación nanomédica y reforzar la innovación en nanobiotecnologías para uso médico.

### *España*

En España, la nanomedicina es apoyada a través de la Plataforma Tecnológica Española de Nanomedicinas<sup>8</sup>. Esta plataforma agrupa a más de 75 participantes, entre los que se incluyen una gran representación empresarial, centros tecnológicos y organismos públicos de investigación. Esta plataforma es una de las más activas en el ámbito nacional y para su funcionamiento cuenta con el respaldo y la financiación del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, el Ministerio de Educación y Ciencia, el Ministerio de Sanidad y Consumo, y el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial). La Plataforma Española de Nanomedicina es la encargada de organizar la primera reunión de la Plataforma Europea de Nanomedicina en septiembre de 2006.

Los principales objetivos de NanomedSpain son los siguientes:

- Representar los intereses españoles con una única voz en la nueva Plataforma Europea de Nanomedicina.
- Avanzar en el diálogo sobre aspectos científicos, tecnológicos, organizativos e industriales en el ámbito de la nanomedicina entre todas las partes interesadas de la industria, la investigación y la administración.
- Establecer recomendaciones en la manera de plantear líneas estratégicas de actuación en el terreno de la nanomedicina en el ámbito estatal y autonómico.
- Dar a conocer a la sociedad los aspectos relativos a la nanomedicina.

### 3.2.4. Energía

#### *Cada día se depende más de la energía*

El acceso a fuentes de energía baratas, seguras y renovables es la clave para el desarrollo sostenible en todo el mundo. La nanoenergía va a intentar contribuir en este desarrollo aplicando tecnologías que obtengan mejores prestaciones, durabilidad, eficiencia, ahorro y seguridad; así como con el desarrollo de tecnologías que aumenten la competitividad en la energía y el respeto por el medio ambiente.

18. Página web: [www.nanomedspain.net](http://www.nanomedspain.net).

En la actualidad, las sociedades industrializadas demandan y utilizan ingentes cantidades de energía, destinadas a hacer funcionar las máquinas, transportar mercancías y personas, producir luz, calor o refrigeración. Todo el sistema de vida moderno está basado en la disposición de abundante energía a bajo coste. Su consumo ha ido creciendo continuamente y de forma paralela a los cambios de los hábitos de vida y las formas de organización social.

Para afrontar este crecimiento se hace necesario desarrollar acciones estratégicas en las que la nanoenergía será de vital importancia. Si esto no fuera así, el aumento de población y el incremento de la industrialización provocarían un escenario de gran riesgo y conflicto en el siglo XXI, ya que será imposible mantener los niveles de crecimiento económico con las fuentes de energía actualmente disponibles.

Un futuro sin abundante energía reduciría muchos puntos esenciales que permiten a la sociedad no sólo su crecimiento económico, sino también el progreso o la productividad. Son, por tanto, imprescindibles nuevas fuentes de energía para una civilización segura, productiva, moderna y global que demanda alternativas renovables, sostenibles, limpias y abundantes.

La nanotecnología desempeña un importante papel en este cambio hacia una nueva energía, al representar una plataforma técnica y estratégica que permite el desarrollo de materiales y procesos de fabricación anteriormente no disponibles. La nanotecnología combinada con energía puede llevar hacia nuevas fuentes de energía no contempladas hasta el momento, expresando un nuevo paradigma de energía sostenible.

La nanoenergía puede aumentar la eficiencia de la energía solar, geotérmica o de hidrógeno, acelerando el acceso a estas energías renovables. Asimismo, permite la producción de fuentes de energía más baratas, posiblemente de nuevas fuentes de energía híbridas. La nanoenergía también consigue acelerar la transición hacia una fuente de energía limpia, sostenible y renovable que permita la independencia de la energía petrolífera.

Mis notas

La nanoenergía, por tanto, se enfrenta al objetivo de desarrollar aplicaciones a escala nanométrica que permitan el suministro energético.

### *El primer paso hacia la comercialización*

La nanoenergía está empezando a dar muestras de su potencial con prototipos comerciales de aplicaciones/tecnologías que ya se han logrado desarrollar:

- *Célula solar = energía eléctrica abundante:* la energía solar fotovoltaica sería suficiente para abastecer de electricidad a todo el mundo, por lo que la nanotecnología se está empezando a introducir en ella con el objetivo de conseguir una mejora de la conversión en electricidad. Las células solares actuales tienen una eficiencia limitada y son muy costosas debido al uso del silicio como material. Sin embargo, gracias a la nanotecnología, se están desarrollando células solares compuestas por superficies nanoestructuradas de puntos cuánticos que

muestran una eficiencia superior como captadores de la energía solar. La nanotecnología permite la fabricación de células solares con materiales baratos que no dañan el medio ambiente. Ejemplo de esto son las primeras células solares ultrafinas enteramente de nanocristales que se han desarrollado<sup>19</sup>. Tan baratas como fáciles de fabricar y mil veces más delgadas que un cabello humano, estas células ofrecen la ventaja añadida de ser estables en el aire. La posibilidad de laminar los techos de viviendas residenciales y edificios comerciales con estas células podría algún día permitir la conversión de suficiente luz solar en energía eléctrica para proporcionar virtualmente toda la electricidad necesaria.

■ *Células de combustible limpias y de gran rendimiento:* en una célula de combustible se combinan hidrógeno y oxígeno en una reacción controlada, produciendo agua y electricidad. Esto demuestra su nula contaminación, ya que su único desecho es agua. Se espera que a medio y largo plazo las células de combustible reemplacen una gran parte de los sistemas de combustión actuales. Para ello es necesario superar la gran barrera que hoy día supone el alto precio de los materiales utilizados en la tecnología de células de combustible, lo cual no permite de momento su competencia con equipamientos convencionales de energía eléctrica. La nanotecnología quiere desarrollar materiales menos costosos, ya que, de lo contrario, su aplicación en el uso del hidrógeno como energía en vehículos será imposible. Igualmente, está previsto que las células de combustible penetren inmediatamente en las aplicaciones portátiles como ordenadores portátiles, teléfonos móviles, agendas electrónicas etc.

#### Una curiosidad

Las células de combustible han sido utilizadas por los astronautas para proveerse de energía a bordo de las naves espaciales desde hace tiempo.

Sin embargo, ésta no era la única función de estas nuevas células. Son tan limpias que, actualmente, los astronautas beben el agua pura producida como residuo por las células de combustible del transbordador espacial.

■ *Baterías de larga duración:* a pesar de que todo hace pensar que las células de combustible se preparan para ser la fuente energética por excelencia del futuro, aún se sigue investigando en las baterías convencionales. Ejemplo de ello son los nuevos materiales para baterías de litio<sup>20</sup>. Este avance permitirá la comercialización de una nueva generación de baterías recargables. Los nuevos nanomateriales permiten la fabricación de baterías recargables tres veces más potentes que las actuales de litio por el mismo precio y con un tiempo de recarga mucho más corto que las pilas tradicionales.

■ *Hidrógeno para casas y coches:* ya se ha lanzado la tercera Estación Doméstica de Energía Experimental<sup>21</sup>. Su funcionamiento se basa en gas natural o en propano y agua, con los que se hace hidrógeno, que alimenta una célula de combustible que genera calor y electricidad para el hogar. Su diseño res-

19. Desarrolladas por los Investigadores del Lawrence Berkeley National Laboratory (<http://www.lbl.gov/>).

20. Avance logrado por Altair Nanotechnologies (febrero de 2005): <http://www.altairnano.com/>.

21. Presentada por Honda y Plug Power (noviembre de 2005): <http://world.honda.com/news/2005/c051114.html>.

ponde a su funcionamiento en un entorno doméstico. Igualmente, es capaz de suministrar suficiente cantidad de hidrógeno para propulsar un vehículo de célula de combustible impulsado por hidrógeno. El rendimiento total aumenta con un funcionamiento más eficiente de la energía, lo que incrementa el almacenamiento de hidrógeno y las capacidades de producción, permitiendo un tiempo de arranque más rápido de aproximadamente un minuto.

■ *Almacenamiento de hidrógeno, que permite su uso como fuente energética:* se ha experimentado con una nueva clase de nanomateriales que actúan como esponjas, absorbiendo el hidrógeno y reteniéndolo hasta su utilización<sup>22</sup>. Hasta este momento no se había encontrado ningún material con la capacidad necesaria para almacenar hidrógeno con la necesaria presión y temperatura, por lo que este nuevo avance supone la posibilidad de utilizar el hidrógeno como energía alternativa, limpia y de menor consumo.

■ *Mejora de la producción de hidrógeno:* se ha investigado ya en un nuevo sistema para la producción de hidrógeno, rompiendo el agua a partir de la luz solar<sup>23</sup>. El dispositivo se ha denominado Tandem Cell y su puesta en marcha permitiría el uso del hidrógeno como energía alternativa gracias a materiales nanocrystalinos que permiten la disociación del agua.

■ *Los primeros transportes con hidrógeno:* un avión que funciona con hidrógeno líquido realizó con éxito sus primeros vuelos de prueba en julio de 2005<sup>24</sup>. Un tanque lleno de hidrógeno es suficiente para que el avión, que cuenta con una fila de ocho hélices en su ala que se alimentan con este combustible, permanezca en el cielo durante 24 horas. Este avión, que funciona sin piloto, se llama Global Observer y el hecho de que transporte hidrógeno líquido a bordo hace imprescindible el aislamiento con nanomateriales del tanque en el que se almacena el combustible.

■ *Combustibles más duraderos para los coches:* se ha desarrollado una tecnología que permite que un coche con un motor modificado con potencia generada por nanopartículas metálicas dure tres veces más que los motores actuales de combustión por gasolina<sup>25</sup>. Los combustibles de metal también ofrecen gran potencial para vehículos sin piloto y fuentes de potencia en el campo de batalla para usos militares.

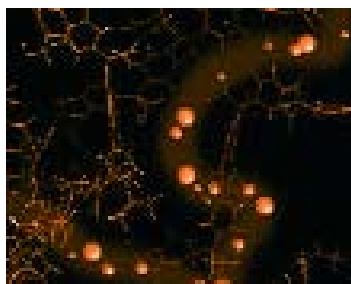
■ *Lámparas "eternas":* ya existen actualmente lámparas de emisión de diodos (LED) que no obtienen su potencia a expensas del calentamiento, sino por efectos mecánicos, por lo que no generan calor. En consecuencia, alargan la vida del mecanismo, por lo que conceptualmente se podrían catalogar como "eternas". Son eficientes tanto en el consumo de energía (bajo consumo; pueden abastecerse de energía mediante baterías) como en su ergonomía (carecen de cables).

22. Publicado en la revista Technology Review (febrero de 2005): <http://www.technologyreview.com/>.

23. Anunciado por Hydrogen Solar (febrero de 2005): <http://www.hydrogensolar.com/>.

24. Creado por AeroVironment (julio de 2005): <http://www.aerovironment.com/>.

25. Desarrollado por Laboratorios ORNL: <http://www.ornl.gov>.



### Aún estamos muy lejos

La nanoenergía se halla en proceso de desarrollo de numerosas aplicaciones para poder afrontar los retos que contribuyan al cambio hacia nuevas fuentes de energía:

- Métodos de gran escala para disociar el agua directamente con la luz del sol para producir hidrógeno.
- Transformación de la luz solar con una eficiencia un 20% mayor y un coste 10 veces menor.
- Materiales reversibles de almacenamiento de hidrógeno que operen a temperatura ambiente.
- Células de combustible, baterías y supercondensadores de bajo coste y menor consumo.
- Líneas de transmisión de potencia eléctrica capaces de transmitir un gigawatio.
- Iluminación al 50% del consumo de potencia actual.
- Producción y consumo de energía limpia que no dañe el medio ambiente.
- Síntesis de materiales y recolección de energía basada en los mecanismos eficientes y selectivos de la biología.

Sin embargo, aún existe un conocimiento deficiente sobre la nanoenergía: durabilidad, fiabilidad y otros temas que impliquen tecnologías de apoyo en el almacenamiento y la producción de hidrógeno (como la biotecnología).

No obstante, esta barrera no paraliza a los investigadores, que siguen trabajando en la obtención de aplicaciones comerciales<sup>26</sup>:

- *El calor humano se transforma en electricidad = Termoelectricidad*: los dispositivos termoeléctricos son sistemas sólidos que pueden proporcionar frío o calor y un control preciso de la temperatura; además, tienen la capacidad de convertir el calor en electricidad a través de propiedades de conductividad térmica. Las principales ventajas que supone su uso son su minúsculo tamaño, la inexistencia de partes mecánicas y su simplicidad.

Esta tecnología sería de gran aplicación en la informática, con puntos cuánticos de materiales termoeléctricos aplicados en los chips de los ordenadores, que ayudarían a enfriarlos y, por tanto, permitirían mayor rapidez sin necesidad de ventilación. Los puntos cuánticos podrían actuar como pequeños refrigeradores o generadores de energía.

26. Los primeros tres puntos han sido obtenidos de la publicación NanoRoadMap Project. Sectoral Report: Energy. Autor: Mika Naumanen. VTT Technology studies. Octubre de 2004.



Otra de las aplicaciones más interesantes que podría tener la termoelectricidad es la posibilidad de convertir el calor humano en electricidad, lo que permitiría, por ejemplo, instalar un GPS (alimentado por calor humano) en la chaqueta de los niños para tenerlos siempre localizados.

■ *Aislamiento de la energía:* los materiales de aislamiento son usados para mantener la temperatura constante en espacios cerrados. Actualmente, la cantidad de energía de las casas y las industrias que se malgasta debido al pobre aislamiento de los edificios es enorme. Avances en el aislamiento permitirían una reducción de la demanda de energía y de su coste. La nanotecnología aporta su contribución a este objetivo a través de los aerogeles, uno de los materiales aislantes tanto térmico como acústico y eléctrico. Los poros y las partículas de los aerogeles son más pequeños que la longitud de onda de la luz.

■ *Supercondensadores más eficientes y baratos:* los supercondensadores son dispositivos que adquieren una determinada carga eléctrica. A diferencia de los condensadores convencionales y las baterías, son más fiables, más rápidos y más eficientes ante bajas temperaturas.

El uso de nanotubos multicapa en los condensadores permite su menor tamaño, mayor rapidez y mayor capacidad energética. Los supercondensadores de bajo voltaje pueden ser de gran utilidad en dispositivos como lectores de CD, cámaras, ordenadores, relojes, alarmas, etc.

■ *Nuevos conductores de electricidad más eficientes:* diversas investigaciones intentan encontrar la manera de conducir la electricidad a través de cables de potencia, superconductores o conductores cuánticos desarrollados con nuevos nanomateriales. Su objetivo es reemplazar las líneas de alta tensión y permitir conducciones a larga distancia o redes continentales de transporte de energía eléctrica, reduciendo o eliminando las caídas por fallos térmicos y por pérdidas de corriente, y reemplazando los cables de cobre y aluminio.

■ *Extracción del calor geotérmico como energía alternativa:* equipos de científicos trabajan en el desarrollo de nanomateriales y de cubiertas que permitan perforaciones profundas a un menor coste para capturar la energía del calor geotérmico en estratos profundos.

■ *Fotosíntesis artificial para la producción de hidrógeno:* científicos británicos han identificado en plantas el lugar exacto donde se producen las reacciones de fotosíntesis gracias a la nanotecnología. Este descubrimiento científico permitiría, en principio, la fabricación de pequeñas instalaciones de fotosíntesis artificial, capaces de obtener hidrógeno a partir del agua y de absorber CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Si esto se consiguiera, el hidrógeno así obtenido podría ser utilizado como combustible para las células de hidrógeno. La posibilidad de absorber dióxido de carbono mediante un nuevo procedimiento tecnológico es otra de las vías abiertas por este descubrimiento.

■ *Nanofiltros que separan el agua del petróleo:* existen diversas aplicaciones que los nanofiltros podrían encontrar, como, por ejemplo, la separación del agua del petróleo. Las industrias de procesos químicos gastan anualmente 200.000 millones de dólares en este proceso, al que se atribuye entre el 80% y el 90% de los costes de refinamiento. El desarrollo de nanofiltros de alta calidad permitiría, en este sentido, grandes reducciones de costes.

■ *Nanorrobots en busca de petróleo:* se está investigando la aplicación de diminutos nanorrobots en la exploración de yacimientos petrolíferos. La idea es que los nanorrobots serán capaces de patrullar las reservas de petróleo, controlando cómo fluyen los hidrocarburos y permitiendo decidir cómo se puede maximizar la extracción.

### *Los principales apoyos institucionales a la nanoenergía*

Los gobiernos de las principales regiones están tomando medidas de apoyo que aporten unos cimientos sobre los que la nanoenergía se pueda sustentar para su posterior desarrollo. A continuación se muestra cómo en Estados Unidos, en Europa y, en particular, en España se están fomentando nuevas fuentes energéticas a través de la nanoenergía.

#### *Estados Unidos*

Estados Unidos apoya las investigaciones en nanoenergía a través de su plataforma National Nanotechnology Initiative. La energía es una de sus prioridades, para la que se marca como objetivos los siguientes:

- Desarrollar un programa de I+D que permita el conocimiento de la nanoenergía a todos los niveles.
- Ayudar a encontrar aplicación a todas las investigaciones que se están realizando sobre nanoenergía.
- Dar el soporte adecuado a los recursos humanos para que continúen avanzando en nanoenergía.
- Controlar el impacto que tenga la nanoenergía sobre el medio ambiente.

#### *Europa*

En Europa existen dos plataformas relacionadas indirectamente con la nanoenergía, ya que tratan sobre investigaciones que se están alcanzando gracias a ella:

- Plataforma Tecnológica para Plantas de Combustibles Fósiles de Emisión Cero: en línea con la prioridad propuesta del Séptimo Programa Marco "Generación de electricidad con emisiones próximas a cero", la plataforma pre-

tende identificar y eliminar los obstáculos a la creación de plantas generadoras de electricidad eficientes, con emisiones próximas a cero. Ello reducirá drásticamente el impacto medioambiental de la utilización de combustibles fósiles, especialmente carbón.

■ Plataforma Europea del Hidrógeno y las Células de Combustible: la plataforma y sus actividades contribuyen a una estrategia integrada para acelerar la creación de una economía sostenible del hidrógeno en Europa. Sus principales objetivos son los siguientes:

- Facilitar y acelerar el desarrollo y la utilización de sistemas energéticos y tecnologías de componentes basados en células de hidrógeno y combustible con un coste competitivo, para su aplicación en el transporte y la energía estacionaria y portátil.
- Facilitar la coordinación eficiente de los programas e iniciativas de investigación y desarrollo europeos, nacionales, regionales y locales.
- Asegurar la participación equilibrada y activa de los principales agentes, y ayudar a la concienciación de las oportunidades del mercado y los escenarios energéticos de las células de combustible e hidrógeno.

### *España*

En España, la nanoenergía encuentra soporte en la Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y Células de Combustible, cuyos objetivos son los siguientes:

- Elaborar una estrategia tecnológica nacional para la Plataforma Europea.
- Elaborar una planificación a corto, medio y largo plazo para la I+D+i.
- Impulsar proyectos estratégicos de I+D.

Mis notas

### 3.3. Apoyo gubernamental

La nanotecnología se ha bautizado como la última revolución. De hecho, la mayoría de los países ha visto en esta nueva dimensión una oportunidad de desarrollo que no puede permitirse rechazar.

¿Cómo impulsa cada país la nanotecnología? Las opciones se distribuyen entre el aporte de subvenciones y becas, la construcción de centros de investigación o la dotación de herramientas a los ya existentes, y el ofrecimiento de un apoyo indirecto, mediante la subvención de empresas o la oferta de exenciones.

Desde el comienzo, los gobiernos de todo el mundo han mostrado su interés en que el impacto de la revolución nanotecnológica sea positivo para todos (esta corriente, que también afecta al ámbito privado, se conoce como *green-nano*). En el ámbito de las nanopartículas, por ejemplo, donde veremos las primeras aplicaciones nanotecnológicas, se ha anticipado como posible riesgo la posibilidad de que se produzca alguna emisión nociva para el medio ambiente o para el ser humano. Por este motivo, los distintos procesos, investigaciones y aplicaciones lanzados en este ámbito estarán regulados, y los posibles elementos nocivos para el ser humano, debidamente inspeccionados y controlados.

Una importante cantidad de países se está subiendo al carro de la nanotecnología, con los gobiernos como primeros agentes implicados. La consultora Lux Research<sup>27</sup> ha creado un ranking mundial de “penetración nanotecnológica” basándose en dos ejes:

- La *actividad nanotecnológica* existente en el propio país: inversión pública, centros de investigación gubernamentales o universitarios, gasto en I+D nanotecnológica por parte de las empresas, etc.
- La fuerza que está tomando actualmente el *desarrollo tecnológico* en el propio país: recursos humanos destinados tanto a la nanociencia como a la nanotecnología, el gasto en I+D como porcentaje del PIB o la producción de tecnología de última generación también como porcentaje del PIB.

Tras ponderar y analizar los datos obtenidos, los países se han clasificado en cuatro grupos.

1. Los *líderes* nanotecnológicos de hoy: Estados Unidos, Japón, Corea del Sur y Alemania.
2. Los *niche players*, definidos como “países de población reducida con una elevada fuerza en desarrollo de tecnología que debe convertirse en empleos y productos”: Taiwán, Israel y Singapur.
3. Aquellos países con *alta actividad nanotecnológica*, pero débiles en el desarrollo tecnológico: el Reino Unido y Francia.
4. Países con un *alto potencial* de desarrollo a medio plazo: China, Canadá, Australia, Rusia y la India.

La comparación del *ranking* de Lux Research con los datos de inversión pública que distintos países destinan a la nanotecnología muestran cómo ambas fuentes siguen la misma línea, aunque el número de países analizados varíe.

27. Según su informe titulado “Ranking the Nations: Nanotech’s Shifting Global Leaders”

Government annual Spending on Nanotechnologies 1997-2005

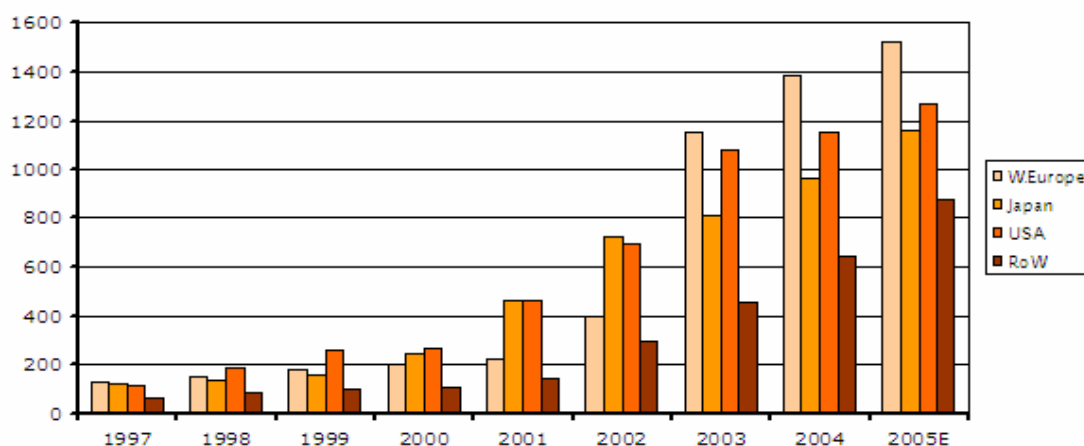


Ilustración 8: Gasto público anual en nanotecnología (1997-2005). Fuente: Científica.

El primer aspecto que destaca es la elevación prácticamente exponencial de la curva de crecimiento, especialmente en los últimos tres años. El gasto público de Europa Occidental, por ejemplo, en el año 2003 se triplica con respecto a 2002.

En segundo lugar, la preeminencia de Europa Occidental se explica al reunir distintos países, que en la clasificación de la consultora Lux Research se distribuyen en diferentes categorías.

Este capítulo expone las principales acciones que están llevando a cabo los diferentes gobiernos de los países más destacados en nanotecnología para apoyar este desarrollo. Se centra especialmente en el apoyo en el ámbito europeo y, como caso particular, en el impulso en España.

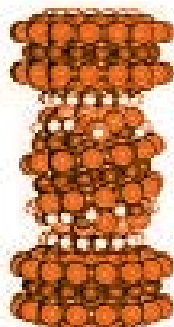
### 3.3.1. Apoyo gubernamental a escala global

Los siguientes países figuran en este apartado por ser líderes, por su gran potencial o por demostrar una serie de fortalezas y best practices que pueden servir de ejemplo o referente para España.

#### *Estados Unidos*

Una vez más, como en tantos sectores tecnológicos, Estados Unidos ha innovado, encauzado y liderado los sucesivos avances en nanotecnología.

También en lo referente al apoyo gubernamental, este país es el espejo en el que se mira el resto de las potencias, imitando sus iniciativas y siguiendo sus pasos. Un botón de muestra lo constituyen las URL de las páginas oficiales, entre las que Estados



Unidos utilizó el dominio *nano.org*. De esta forma, las páginas web oficiales de otros países sobre nanotecnología se han visto obligadas a añadir el epónimo al dominio: *nanoisrael.org*, *nanospain.org*.

Para abordar el apoyo gubernamental en Estados Unidos nos vamos a centrar en tres iniciativas responsables de promover el desarrollo de la nanotecnología.

#### *National Nanotechnology Initiative (NNI)*<sup>28</sup>

En 1999 se emprendió el borrador de un plan de desarrollo de la ciencia y la tecnología a escala nano. Posteriormente, en el presupuesto del año 2001, la administración Clinton elevó esta iniciativa a nivel federal y desde ese momento se refirió a ella oficialmente como Iniciativa Nacional de Nanotecnología.

Actualmente, la NNI es el organismo que coordina los esfuerzos nanotecnológicos en el país. Los objetivos que promueve, definidos en su plan estratégico en diciembre de 2004, son los siguientes:

- Hacer realidad el potencial de la nanotecnología a través de programas de I+D de renombre internacional.
- Facilitar el salto desde la investigación en el laboratorio hasta la comercialización de productos, lo cual fomenta a su vez el crecimiento económico, la creación de empleo y otros beneficios públicos.
- Desarrollar recursos educativos, fuerza de trabajo, infraestructuras y herramientas para avanzar en la nanotecnología.
- El uso responsable de esta tecnología en medicina, manufacturas, materiales, tecnologías de la información, energía, etc.

Todo esto es posible gracias a la generosa financiación que el plan recibe del gobierno. Según los presupuestos presidenciales para el año 2007, la National Nanotechnology Initiative recibirá 1.200 millones de dólares. Desde el año de su fundación, ha recibido financiación gubernamental por un valor superior a 6.500 millones de dólares en total.

28. Página web: <http://www.nano.gov>.

El lanzamiento de esta iniciativa en 2001 provocó un aumento sustancial de la inversión en nanotecnología en Estados Unidos, como se puede ver en la ilustración 9.

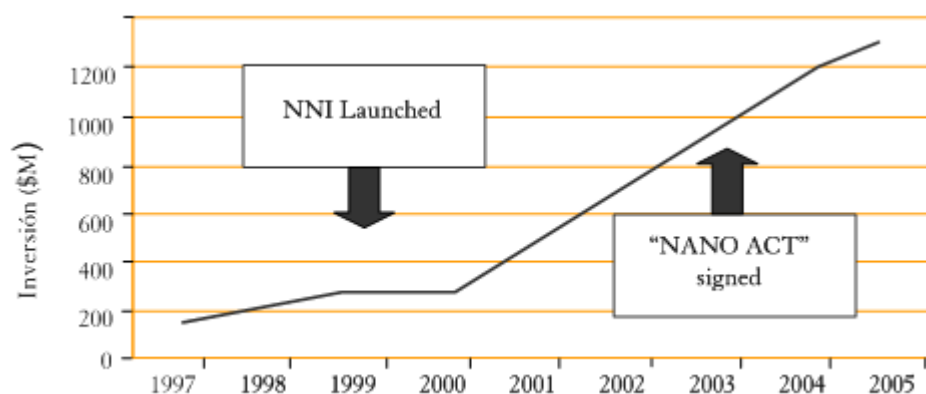


Ilustración 9: Inversión en I+D nanotecnológica en EEUU.

Fuente: Presentación realizada por el Dr. Brent M. Segal en el FTF.

Aproximadamente el 65% de los fondos aportados por la NNI va dirigido a investigaciones realizadas en el ámbito académico, aunque también hay un porcentaje considerable que apoya las iniciativas conjuntas entre investigadores y empresas privadas con el objetivo de apalancar la inversión pública. Hasta ahora, la NNI ha financiado más de cien centros de nanociencia y tecnología, así como redes de excelencia para individuos e instituciones.

### *Nano Act 2003*

Es una ley que lo promueve y oficializa el desarrollo en nanotecnología; es decir, se trata de un paso más para oficializar el apoyo gubernamental a esta nueva industria. Como se define en su primera página, es "una ley para asignar financiación a la nanociencia, la nanoingeniería y la investigación científica, así como para otros fines"<sup>29</sup>.

Los objetivos que se enuncian son los siguientes:

- Establecer los objetivos, prioridades y métricas de evaluación para la investigación nanotecnológica, su desarrollo y otros fines asociados.
- Invertir en programas nacionales de investigación y desarrollo en nanotecnología y otras ciencias relacionadas para alcanzar estos objetivos.
- Proporcionar la coordinación entre agencias dedicadas a investigación, desarrollo y otras actividades llevadas a cabo según lo establecido en el programa.

Como primera medida, para autorizar las partidas pertinentes, se crea el programa nacional de nanotecnología (*National Nanotechnology Program*), cuya misión está coordinada con la NNI.

29. "An act to authorize appropriations for nanoscience, nanoengineering, and nanotechnology research, and for other purposes", en <http://www.smalltimes.com/smallstags/images/nanobills189.pdf>.

La inversión se centra en subvenciones a individuos y equipos para llevar a cabo proyectos de investigación, en la creación de una red de centros e infraestructura, en el incremento de la productividad y las industrias competitivas a través de inversiones, y en el fomento del sector privado, start-ups incluidas.

La responsabilidad de la implantación del programa nacional de nanotecnología recae en la oficina de coordinación (National Nanotechnology Coordination Office), formada por un director y un equipo a tiempo completo. Las directrices y líneas de investigación que deben seguirse son marcadas por el grupo de expertos asesores.

### Japón

El país del sol naciente orienta su desarrollo nanotecnológico al mercado actual. Con una visión muy comercial, las iniciativas japonesas financiadas por el gobierno tienen como objetivo la mejora de los materiales que se utilizan en la fabricación de dispositivos y aparatos convencionales, como, por ejemplo, el reforzamiento de los parachoques gracias a los nanotubos o la alimentación de portátiles con nanocuernos (una variante del nanotubo en forma de cuerno).

Ya en el año 2002, el Ministerio de Educación, Cultura, Deportes, Ciencia y Tecnología de Japón lanzó un lugar común en la Red<sup>30</sup> destinado a investigadores de nanotecnología para difundir los avances nanotecnológicos de los centros de investigación y ofrecer una plataforma de comunicación para los ámbitos empresarial, académico y público en contacto con la nanotecnología.

El esfuerzo económico de Japón en este ámbito se refleja en la ilustración 10, en la que se puede observar cómo el gasto público per cápita en I+D nanotecnológica es el más alto de los países reflejados.

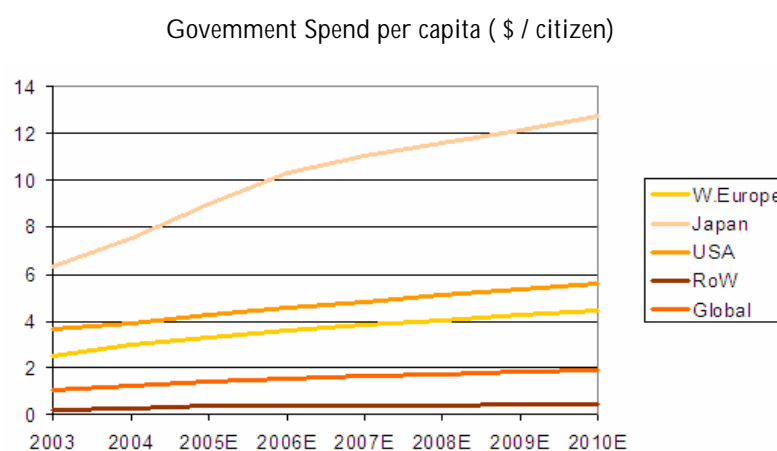


Ilustración 10: Gasto per cápita en I+D en nanotecnología. Fuente: Científica.

30. Véase <http://www.nanonet.go.jp/english/>.



Entre 2001 y 2003, los dos años previos al gráfico, la financiación de la nanotecnología por parte del gobierno nipón aumentó de 400 a 800 millones de dólares.

La principal institución creada para estos fines es el Nanotechnology Research Institute<sup>31</sup>. Este centro de investigación sobre nanotecnología en Japón centraliza todas las actividades nanotecnológicas dentro del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Industriales Avanzadas<sup>32</sup>.

El objetivo del NRI a largo plazo es lanzar aplicaciones tecnológicas gracias a los conocimientos adquiridos en física, química y biología en la escala nanométrica.

#### *Acuerdos bilaterales*

Estados Unidos y Japón han firmado un acuerdo de colaboración en materia de nanotecnología y materiales. A través de la Fundación Nacional para la Ciencia (National Science Foundation) y el Ministerio de Educación, Cultura, Deportes, Ciencia y Tecnología, se promueven simposios e intercambios inter-naciones de jóvenes investigadores.

Asimismo, el proyecto AsiaNANO centraliza la colaboración entre los países del sudeste asiático. Su objetivo es favorecer la investigación interdisciplinar en los campos de la química, la física, la biología, la ciencia de materiales, los semiconductores, la óptica y la fotónica.

Por último, el gobierno japonés ha firmado acuerdos concretos con países europeos, como Reino Unido, Suecia o Italia, aunque ninguno con la Unión Europea como institución.

#### *Israel*

El objetivo perseguido por el gobierno israelí se enmarca en un plan más ambicioso que el japonés, centrado en la comercialización de productos innovadores y exitosos a corto plazo y competitivos a largo plazo.

Con este objetivo, el marco de la iniciativa nacional nanotecnológica, Israel National Nanotech Initiative<sup>33</sup>, facilita la comunicación entre empresas interesadas en invertir en proyectos de investigación, a través de un eficiente grupo de expertos en logística e industria, provenientes del entorno universitario.

Con un objetivo tan claro, no es de extrañar que los resultados sean excelentes:

- De las seis universidades israelíes, el Technion Institute y la universidad Bar-Ilan lideran la formación y la investigación. Del año 2002 a esta parte casi se ha doblado el número de científicos dedicados a la nanotecnología. Además de los campos habituales (nanomateriales, nanobiotecnología y nanoelectrónica), añaden a sus temas centrales de I+D el nanoagua.

31. Véase <http://unit.aist.go.jp/nanotech/>.

32. Véase

[http://www.aist.go.jp/index\\_en.html](http://www.aist.go.jp/index_en.html).

33. Véase [www.nanoisrael.org](http://www.nanoisrael.org).

■ El tejido industrial en Israel está centrado en ofrecer productos con un valor añadido tecnológico. Existen aproximadamente doce empresas establecidas que facturan, entre todas, 76 millones de dólares. A esto hay que sumar unas treinta *start-ups* con un gran potencial.

Este empuje empresarial, las instituciones académicas, los inversores de capital riesgo y las agencias gubernamentales que velan por los intereses nanotecnológicos del país conforman los eslabones de la cadena de valor.

#### *Acuerdos bilaterales*

La fundación israelí-estadounidense de ciencia y tecnología (United States-Israel Science and Technology Foundation) es una organización sin ánimo de lucro. Se encarga de promover y desarrollar programas estratégicos de la Comisión de Ciencia y Tecnología israelí-estadounidense, para beneficio de ambos países. Desde 1995 patrocina proyectos en diversos ámbitos, entre los que se encuentra la nanotecnología. Aunque actualmente se focaliza hacia centros de investigación, ha subvencionado en el pasado empresas de capital riesgo. El intercambio de ideas con Estados Unidos y el apoyo mutuo son muy estrechos.

Israel ha firmado también un acuerdo de colaboración con la Unión Europea. Además de colaboraciones concretas, como la establecida entre el consorcio europeo Charpan y el instituto de tecnología israelí Technion<sup>34</sup>, Israel es el único país externo a la Unión Europea que está integrado dentro de su Sexto Programa Marco<sup>35</sup>. Durante los dos primeros años de implantación de este programa, Israel ha colaborado en proyectos por un valor de 1.500 millones de euros.

#### *Otros países destacados*

##### *China*

El gran dragón rojo está dando sus primeros pasos en nanotecnología, al igual que en muchos otros campos.

La tendencia de los próximos 5-10 años en China no se distingue mucho de la del resto del mundo: actualmente, la nanotecnología en China es un mercado de 5.400 millones de dólares estadounidenses. En el plazo de cinco años alcanzará los 31.400 millones de dólares y, en 2015, los 144.900 millones.

Con la vista puesta en impulsar la comunicación entre centros de investigación, empresas y gobierno, se acaba de lanzar en febrero de 2006 una plataforma<sup>36</sup> cuyo objetivo es difundir y proporcionar información referente al tema, al tiempo que ofrece a empresarios, inversores extranjeros, sector público y demás actores una plataforma para comunicarse.

Según la consultora Helmut Kaiser, existen ya 800 empresas chinas que están probando suerte en el nanomercado.

34. Véase [http://www.menewslines.com/stories/2005/november/11\\_11\\_4.html](http://www.menewslines.com/stories/2005/november/11_11_4.html).

35. Véase <http://www.iserd.org.il/>.

36. Véase <http://www.nanochina.cn/english/>.

### *Taiwán*

La isla rebelde lidera la China continental en lo que a tecnología se refiere. De hecho, hace ya cuatro años (2002) que se inauguró en Taiwán el Centro para los Institutos de Nanotecnología Aplicada, patrocinado por el Instituto, dedicado a investigaciones sobre tecnología industrial. La inversión inicial en este centro fue de 290 millones de dólares estadounidenses.

Además, la isla destinará 700 millones de dinero público para un fondo de nanotecnología de cinco años<sup>37</sup>. El 62% de este capital estará destinado a la industrialización y el 38% restante, a I+D (infraestructura y recursos humanos incluidos).

El instituto para la investigación tecnológica industrial de Taiwán (ITRI: Industrial Technology Research Institute) se ha aliado con la universidad de Berkeley para promover la nanotecnología e identificar mercados para sus productos. Esta alianza se ha creado para un período de cinco años renovables.

### *Corea del Sur*

En línea con su creciente apuesta por el desarrollo tecnológico, Corea del Sur inaugurará en 2006 el primer centro de I+D sobre nanotecnología del país. El programa decenal en el que se enmarca la república de Corea destinará 2.000 millones de dólares a nanotecnología.

Su objetivo, una vez más, es la industrialización y comercialización de nanomateriales. En torno al centro nanotecnológico de la universidad de ciencia y tecnología de Pohang se espera reunir a las empresas, laboratorios y otras escuelas que trabajen en nanotecnología.

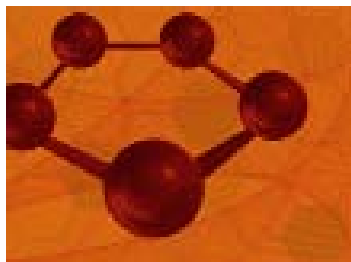
El proyecto nace ambicioso, ya que para 2015 tiene previsto el lanzamiento comercial de más de treinta tecnologías aplicables y la creación de más de quinientas *nanostart-ups*.

### **3.3.2. Apoyo procedente de la Unión Europea**

En Europa se ha detectado la nanotecnología como una oportunidad para situarse a la cabeza del mundo tecnológico.

Aproximadamente un tercio del gasto público europeo en nanociencia y nanotecnología proviene del Sexto Programa Marco. Los dos tercios restantes corresponden a programas nacionales y regionales. Esta inversión, que supone más de 1.000 millones de euros, está dirigida a cumplir el objetivo de crear aplicaciones que mejoren productos ya existentes. A medio-largo plazo, la meta se situará en conseguir grandes mejoras centrándose en la construcción de aplicaciones completamente nuevas, que inicien un nuevo ciclo tecnológico.

37. Véase <http://investintaiwan.nat.gov.tw/en/opp/nanotech.html>.



El hecho de centrarse en la industria y las aplicaciones tiene su razón. Ésta se basa en que, mientras que Estados Unidos publicaba en el bienio 1997-1999 el 24% de los artículos científicos sobre nanotecnología, los países de la Unión Europea, en cambio, alcanzaban el 32%. Sin embargo, mientras en este mismo período Estados Unidos patentaba el 42% de las aplicaciones sobre este tema, la Unión Europea sólo suscribía el 36% de las patentes.

### *El Sexto Programa Marco*

Los programas marco se diseñan cada tres o cuatro años para delimitar los campos científicos en los que se va a centrar la inversión de la Unión Europea. No obstante, se abren convocatorias anuales para las becas y otras formas de financiación otorgadas por dicho programa.

El Sexto Programa Marco de la Unión Europea<sup>38</sup>, con una vigencia de 2002 a 2006, tiene como objetivo el establecimiento de un instrumento financiero que permita concretar la creación de un verdadero Espacio Europeo de Investigación. La tercera prioridad temática del Programa Marco, después de "Ciencias de la vida, genómica y biotecnología aplicadas a la salud" y "Tecnologías para la sociedad de la información", es precisamente el tema en el que se centra esta publicación: "Nanotecnologías, materiales inteligentes y nuevos procedimientos de producción".

El objetivo concreto establecido para esta iniciativa es "ayudar a Europa a dotarse de las capacidades necesarias para el desarrollo y explotación de las nanotecnologías y las nanociencias con el fin de crear nuevos materiales, dispositivos o sistemas, para el control de la materia a escala atómica".

Al igual que en Estados Unidos e Israel, la Unión Europea también es consciente de la importancia de que empresas, universidades y organismos de investigación trabajen conjuntamente, por lo que favorece los proyectos presentados por varias entidades en colaboración.

### *Cinco dinámicas para estimular el progreso*

La Comisión Europea publicó en 2004 una comunicación específica para el desarrollo de la nanotecnología, bajo el título "Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías"<sup>39</sup>. Los cinco pilares fundamentales sobre los que hay que adoptar iniciativas que actúen de forma sinérgica son los siguientes:

- **Investigación y Desarrollo:** la Unión Europea es consciente de la importancia de la excelencia en I+D para garantizar que Europa siga siendo competitiva a largo plazo. Por esta razón, fomenta el incremento de la inversión de los estados miembros en estas materias. Adicionalmente impulsa la competencia y la coordinación entre las políticas y programas nacionales y regionales.

38. Véase <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/i23012.htm>.

39. Comunicación de la Comisión Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías, mayo de 2004, Bruselas.

■ *Infraestructuras*: sin una infraestructura de primer orden (“polos de excelencia”) difícilmente conseguirán los países europeos destacar en la nanoescala. Por este motivo, la Comisión destaca tres necesidades clave:

- Estudiar las infraestructuras existentes para priorizar qué acciones son más urgentes con el objetivo de maximizar su rendimiento.
- Construir, una vez llegado el momento, la infraestructura necesaria dedicada a la nanotecnología
- Estudiar la posibilidad de una sinergia financiera entre el Banco Europeo de Inversiones, el Fondo Europeo de Inversión y los Fondos Estructurales.

■ *Inversión en recursos humanos*: con el objetivo de capitalizar el potencial de las nanotecnologías, la Unión Europea promueve la creación de una comunidad de expertos interdisciplinaria capaz de generar conocimientos y transferirlos a la industria.

Las nanotecnologías constituyen una ocasión única para atraer a nuevos jóvenes científicos y a profesionales cualificados hacia las carreras de investigación. En esta línea son también necesarias nuevas modalidades de formación que trasciendan las fronteras tradicionales de las distintas disciplinas, tanto en el ámbito universitario como en el de postgrado.

Por ejemplo, la Unión Europea ha promovido la creación de un máster<sup>40</sup> sobre nanociencia y tecnología. En este máster, que parte del programa Erasmus Mundus y refleja el carácter multidisciplinar del nanomundo, colaboran varias universidades europeas.

■ *Innovación industrial*: su objetivo es desarrollar una mejor coordinación de las distintas fases de comercialización de las nanoaplicaciones. Para ello se invita a los gobiernos de los estados miembros a llevar a cabo acciones de apoyo, instaurando condiciones que impulsen la inversión por parte de las empresas en I+D y estrechando la cooperación entre las oficinas de patentes.

■ *Dimensión social*: para culminar el proceso nanotecnológico, esta nueva tecnología debe salir del laboratorio y la industria, y llegar a los ciudadanos. La Comisión Europea es consciente de que, si bien las posibilidades que ofrecen las nanotecnologías pueden mejorar la calidad de vida, también existen riesgos asociados a ellas. Así, deben respetarse los principios éticos y, en caso necesario, aplicarse mediante la reglamentación correspondiente.

Además, la complejidad y la naturaleza invisible de la nanotecnología presentan un desafío para los profesionales de la comunicación en este campo. La confianza del público y la aceptación de las nanotecnologías serán cruciales para su desarrollo a largo plazo y para el aprovechamiento de sus ventajas potenciales.

40. Véase <http://www.emm-nano.org/index-nano.htm>.

### Una curiosidad

El "nanoTruck": en enero de 2004 comenzó una curiosa experiencia, consistente en un autobús que recorre parte de Europa para informar del estado actual de la investigación en nanotecnología y su desarrollo. Su objetivo es promover el diálogo entre la comunidad científica y el público en general.



Estas cinco dinámicas propuestas por la Comisión Europea para estimular el progreso necesitan el lanzamiento de actividades concretas en todos los campos para que se generen sinergias. Sin embargo, teniendo en cuenta la situación actual del mercado de la nanotecnología y su necesidad de desarrollo, los expertos del FTF opinan que la priorización de estas cinco dinámicas debería ser la reflejada en la ilustración 11.

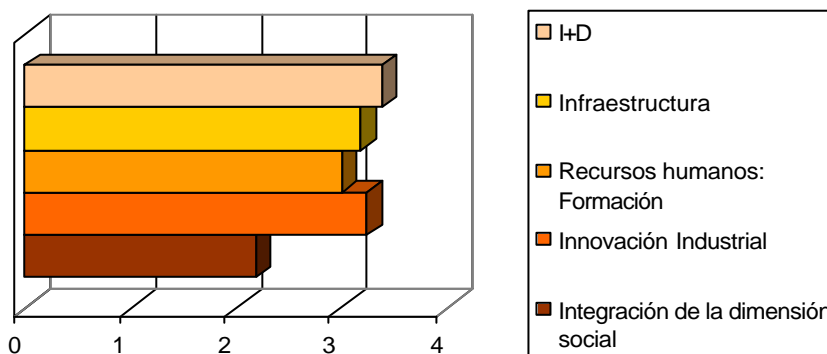


Ilustración 11: Valoración de los expertos del FTF sobre el grado de prioridad de las iniciativas europeas. Fuente: *Elaboración propia*.

### Otras iniciativas

Entre las muchas iniciativas relacionadas con la nanotecnología que financia la Unión Europea<sup>41</sup>, quisiéramos destacar las siguientes:

- *Acción específica de apoyo (SSA): WomenInNano*, cuyo objetivo es apoyar a mujeres jóvenes que quieran llevar a cabo estudios en nanotecnología o nanociencia.

41 Véase <http://www.nanoforum.org>.

- *Nanologue*: creada para fomentar el diálogo, tiene como objetivo la difusión del impacto que tendrá la nanotecnología en la vida cotidiana.
- *Nanodialogue*: se dirige a facilitar el contacto y fomentar las actividades conjuntas entre los nanoexpertos. Con visos a conseguir este mismo objetivo, se ha lanzado la encuesta Towards a European Strategy for Nanotechnology (“Hacia una estrategia europea para la nanotecnología”), para recoger opiniones e ideas de especialistas que ayuden a diseñar dicha estrategia.
- *Nanoregulation*: plataforma promovida por la industria, los gobiernos de la Unión Europea, el ámbito académico y las ONG, cuyo fin es crear un foro de debate sobre temas legislativos de nanotecnología.
- *Nanoroad SME (el nanomapa para las pymes)*: el potencial innovador de las pymes fue reconocido en la agenda de Lisboa, por lo que, a través de distintos proyectos, se ha querido apoyar a las pymes con buenas ideas y pocos recursos. A través del Sexto Programa Marco se han subvencionado proyectos por valor de 1.700 millones de euros entre los años 2002 y 2006. Las aplicaciones nanotecnológicas han merecido más de una subvención.

#### *Acuerdos bilaterales*

La Unión Europea colabora con distintos países en numerosas materias. Por una parte, mantiene acuerdos de cooperación indefinidos con los países candidatos a la adhesión (Bulgaria, Rumanía y Turquía) y con los miembros de la EFTA (Islandia, Liechtenstein, Suiza y Noruega). Por otra parte, en el marco del Sexto Programa Marco, la Unión Europea ha firmado acuerdos de colaboración con terceros países<sup>42</sup>. Estos acuerdos reciben el nombre de “Acuerdos de Cooperación en Ciencia y Tecnología” y los países que han participado son los siguientes:

- *América*: Canadá, Estados Unidos, Brasil, Chile y Argentina.
- *África*: Egipto, Sudáfrica, Marruecos y Túnez.
- *Europa*: Ucrania y Rusia.
- *Asia*: China, India y Japón.
- *Oceanía*: Australia.

#### *European Nanobusiness Association<sup>43</sup>*

La European Nanobusiness Association es una iniciativa más de la Unión Europea consistente en una organización sin ánimo de lucro, nacida para facilitar el posicionamiento de la Unión Europea en el mercado de la nanotecnología. Para conseguirlo, se ha marcado tres objetivos:

42. Véase [http://europa.eu.int/comm/research/iscp/index\\_en.cfm](http://europa.eu.int/comm/research/iscp/index_en.cfm).

43. Véase <http://www.nanoeurope.org>.

- Identificar qué barreras impiden el desarrollo de las nanotecnologías.
- Identificar qué nanotecnologías serán clave para apoyar e impulsar la competitividad europea.
- Facilitar el paso del laboratorio a la empresa. La investigación es un punto fuerte en Europa y el conocimiento en esta fase se debe transmitir a la industria.

La European Nanobusiness Association lleva a cabo dos tareas fundamentales, como son la promoción de un foro de empresas, desde start-ups hasta multinacionales, y el desarrollo de reuniones periódicas con la Comisión y el Parlamento Europeos.

### *El Séptimo Programa Marco*

La Unión Europea lanzará en 2007 el Séptimo Programa Marco, con vistas a constituir la herramienta principal para I+D en los países miembros. Este programa nace ya con la particularidad de que cubre una planificación a siete años, en lugar de a cinco. En torno al concepto del "triángulo del conocimiento", su objetivo es transmitir cuáles serán los tres pilares del programa: investigación, formación e innovación.

La financiación comunitaria para este programa será generosa, con 72.726 millones de euros para el período 2007-2013; de ellos, 4.832 millones se destinarán directamente a nanociencia y nanotecnología. Dentro del presupuesto general para el próximo programa marco se excluyen 3.092 millones de euros, destinados al campo de la energía nuclear entre 2007 y 2011.

El objetivo final, ya anunciado en el Sexto Programa Marco, es construir el Espacio Europeo de Investigación. Siguiendo el principio de transparencia que caracteriza a todas las instituciones de la Unión Europea, el portal CORDIS (Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo) incluye una sección<sup>44</sup> en la que se actualizan todos los avances llevados a cabo en el Espacio Europeo de Investigación.

Para obtener un objetivo tan ambicioso, el Séptimo Programa Marco está desmembrado en cuatro subprogramas más concretos:

- *Cooperación*: dirigido a potenciar la colaboración entre universidades, industria, centros de investigación y autoridades públicas para liderar el sector científico-tecnológico.
- *Ideas*: tiene prevista la creación de un Consejo de Investigación Europeo autónomo, para estimular la creatividad y la excelencia.
- *Personas*: enfocado a la promoción de la formación, la movilidad y la carrera profesional de los investigadores europeos, a través de acciones "Marie Curie".

44. Véase <http://www.cordis.lu/era/home.html>.



- *Capacidades*: dirigido a financiar actividades para mejorar la capacidad de investigación e innovación en toda Europa, desde la investigación regional hasta aquella realizada por pymes, pasando por la cooperación internacional<sup>45</sup>.

### 3.3.3. Apoyo gubernamental en España

La situación de la nanotecnología en España es contradictoria. A pesar de la escasa inversión nacional en I+D+i<sup>46</sup> existen más de 450 grupos españoles de investigación que desarrollan o han desarrollado alguna actividad en el campo de la nanotecnología, buena parte de ellos excelentemente situados en el ámbito internacional.

En general, las iniciativas existentes para el impulso de la nanotecnología son escasas y surgen de los propios científicos o son forzadas por la Unión Europea. Es necesario un esfuerzo gubernamental en España que facilite la adquisición de los costosos equipos para el desarrollo en este campo y la creación de centros conjuntos para potenciar el trabajo de los diferentes grupos de investigación.

#### *Iniciativas existentes para el impulso de la nanotecnología*

Las iniciativas que se pueden encontrar en España relacionadas con la nanotecnología son todas muy recientes. De hecho, en el ámbito gubernamental, ni en el anterior Plan Nacional de I+D+i (2000-2003) ni en los planes regionales se pueden encontrar programas que puedan aglutinar los esfuerzos de las personas altamente cualificadas dedicadas a esta nueva ciencia.

#### *Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación (2004-2007)*

Las directrices del Plan Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación (2004-2007)<sup>47</sup> son aunar de forma constructiva los esfuerzos de todas las personas cualificadas y poder servir de referente a la industria que demande conocimientos sobre el tema. Por primera vez vienen recogidos en este Plan los sectores nanocientífico y nanotecnológico. Hay muchos grupos de investigación, sobre todo jóvenes, con excelentes capacidades y formación, directamente relacionados con la nanociencia.

En el texto se remarca que "el nivel actual de desarrollo de las Nanociencias hace imprescindible el apoyo, fundamentalmente a la investigación básica en la materia; algo que debe priorizarse en el Plan Nacional de I+D+I a través de los distintos programas nacionales implicados en estos temas: física, materiales, diseño y producción industrial, tecnología electrónica y de comunicaciones"<sup>48</sup>.

Todos los programas deben orientarse a la consecución de una coordinación general que genere una **infraestructura material, humana y social** capaz de impulsar un mayor avance en nanotecnología. Los objetivos principales para ello son dos:

- *Infraestructuras instrumentales*: la comunidad de I+D en nanociencias necesita técnicas y equipamientos especializados. El Plan actual considera necesaria

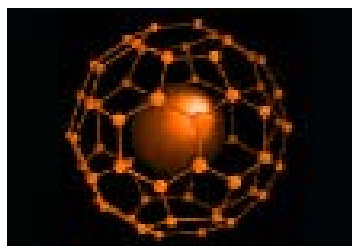
45. Véase <http://cordis.europa.eu.int/press-service/es/20050330.htm>.

46. España, con un porcentaje de inversión en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) del 1,07% del Producto Interior Bruto (PIB), cuenta con una de las tasas más bajas de inversión en este concepto entre los estados miembros de la antigua Unión Europea de quince países, según los datos recogidos por el Instituto de Estudios Económicos (IEE).

47. Véase

[http://www.mec.es/ciencia/jsp/plantilla.jsp?area=plan\\_idi&id=2](http://www.mec.es/ciencia/jsp/plantilla.jsp?area=plan_idi&id=2).

48. Ídem.



la creación de un Centro Virtual de Tecnologías Aplicadas a las Nanociencias, en el que diversos grupos de trabajo se coordinen para adquirir y poner a punto las tecnologías que se consideren de mayor interés y ponerlas a disposición de toda la comunidad científica y técnica.

■ **Demostradores científico-técnicos:** existe un alto potencial científico frente a un bajo interés industrial, por lo que es necesario fomentar actuaciones que impliquen a la totalidad de los actores del sistema en la consecución de resultados de interés industrial. Éstas deben ser impulsadas por organismos multidisciplinares, con objetivos bien definidos y alcanzables, sin que sea una condición imprescindible la posible comercialización de los resultados finales. Su finalidad básica es la creación de una red de relaciones entre los sectores de I+D+i, así como poner en evidencia las capacidades de generar innovación por parte de este nuevo ámbito del conocimiento.

#### *Otras iniciativas*

Diversas iniciativas han contribuido a impulsar la nanotecnología en España en estos últimos años. Entre las más relevantes cabe citar las siguientes:

■ La *Red Nanociencia*, ya desaparecida tras una andadura de cuatro años, fue pionera en el ámbito español, con un carácter formativo y de ejercicio de puesta en común de metodologías, reuniendo a casi doscientos investigadores. Fue financiada en parte por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, y tenía un enfoque de ciencia básica.

■ La *Red NanoSpain*<sup>49</sup> pretende aunar esfuerzos de empresas y organismos públicos de investigación para que se formalice un programa dedicado a la nanotecnología. Fue creada durante el invierno de 2000 a 2001 y en ella participan cerca de 181 grupos de investigación. Sus objetivos son identificar las prioridades y definir las estrategias que hay que desarrollar, además de estudiar, caracterizar, fabricar y probar nuevos nanodispositivos para semiconductores y las industrias de tecnología informativas.

■ La fundación *Phantoms*<sup>50</sup> promueve la iniciativa NanoSpain, financiada, en parte, por el Ministerio de Ciencia y Tecnología. Esta entidad sin ánimo de lucro se creó en noviembre de 2002 para proporcionar un servicio de gestión de alta calidad a proyectos europeos y nacionales en el ámbito de la nanotecnología.

■ La *Acción Estratégica en Nanociencias y Nanotecnología*, convocada por el Ministerio de Educación y Ciencia, se resolvió en octubre de 2005 con un gran éxito de participación (casi 200 proyectos que englobaban 600 subproyectos). La dotación adjudicada (en forma de subvenciones) era de unos 12 millones de euros entre una treintena de proyectos.

49. Página web: <http://www.nanospain.org/nanospain.htm>.

50. Página web: <http://www.phantoms-net.net/>.

■ *Trends in Nanotechnology (TNT)* es el encuentro más importante a escala mundial desde donde se ha observado una rápida evolución de la nanotecnología. La serie de conferencias se celebró en España entre los años 2000 y 2005. En 2006 tendrá lugar en Grenoble (Francia) como evento inaugural de MINATEC (el gran centro de nanotecnología de Francia).

■ También es relevante la *Acción Piloto en Nanotecnologías de la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECyT)*. En ella se han desarrollado importantes encuentros científicos, entre los que destaca Think Tank<sup>51</sup> en Nanotecnologías (primera edición en el año 2004 en El Escorial, Madrid), celebrado en Barcelona en 2005<sup>52</sup>.

■ El CSIC coordina *IP Nanoker*, un proyecto europeo para el desarrollo de nuevos materiales. Tiene una aplicación especial en biomedicina, óptica y aeronáutica. Está previsto el desarrollo de nuevos materiales cerámicos para implantes, válvulas cardíacas o piezas dentales, entre otras aplicaciones. La participación del CSIC en *IP Nanoker*<sup>53</sup> como entidad coordinadora se gestiona a través de dos de sus centros de investigación: el Instituto Nacional del Carbón, en Oviedo, y el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid.

■ Recientemente se ha presentado en España la Plataforma Nacional de Nanoelectrónica e Integración de Sistemas Inteligentes. Esta plataforma está promovida e impulsada por GAIA (Asociación de Industrias de las Tecnologías Electrónicas y de la Información del País Vasco)<sup>54</sup>, el CNM (Centro Nacional de Microelectrónica)<sup>55</sup> y CIDETEC (Centro de Investigación Tecnológica en Electroquímica)<sup>56</sup>. Además, esta iniciativa está respaldada por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, el Ministerio de Educación y Ciencia, y el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial)<sup>57</sup>.

51. Laboratorio de Ideas. En él trabajan varios teóricos e intelectuales multidisciplinares que elaboran análisis o recomendaciones.

52. EOI Escuela de Negocios.

Convergencia NBIC 2005: El desafío de la Convergencia de las Nuevas Tecnologías, [s.l.], Colección EOI 2006, 126 págs.

53. Página web: <http://www.nanoker-society.org/publicarea/p.asp>.

54. Página web: <http://www.gaia.es/>.

55. Página web: <http://www.cnm.es/>.

56. Página web: <http://www.cidetec.es/>.

57. Página web:

<http://www.cdti.es/webCDTI/esp/index.html>. Más información sobre sus objetivos en el capítulo de electrónica.

58. Empresas que permiten capitalizar la investigación académica, traduciéndola en valor empresarial. Surgen generalmente de las mismas universidades o instituciones y son resultado de una intencionalidad manifiesta de difundir y aprovechar el conocimiento vinculado a su entorno.

### *Los recursos disponibles por regiones*

En Madrid y Barcelona, las ciudades con mayor presencia de instituciones públicas, como las sedes del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, son también, por lo general, las que cuentan con un mayor número de empresas con interés en la nanotecnología. Esto indica una buena comunicación entre el sector público y el privado, que normalmente no se da en otras áreas de la investigación. Uno de los puntos clave de esta buena comunicación se encuentra en que muchas de las empresas con actividades nanotecnológicas han surgido como spin-offs<sup>58</sup> de centros de investigación y universidades para poder dar salida al mercado a los nuevos avances del sector.

Es necesario subrayar que la estructura geográfica del reparto de los proyectos de investigación dentro del territorio nacional es muy heterogénea, aunque se han encontrado actividades relacionadas con la nanotecnología casi en la totalidad de las comunidades autónomas. En algunas regiones se ha producido un proceso de especialización. Así, en Cataluña y, sobre todo, en Barcelona se encuentra un gran número de instituciones especialmente interesadas en las aplicaciones nanotecnológicas de la bio-

tecnología, la medicina y la farmacología. En Madrid, en cambio, se trabaja más en el campo de la física de los materiales y el magnetismo aplicado. En el norte de España, el País Vasco y Navarra existen numerosas instituciones más cercanas a la ingeniería de producción. En el norte de España, el País Vasco y Navarra existen numerosas instituciones más cercanas a la ingeniería de producción.

La siguiente enumeración reúne proyectos e iniciativas promovidas por el CSIC y/o distintas universidades. No pretende ser una enumeración exhaustiva, sino más bien ilustrativa de algunas regiones:

- En *Madrid*: el Parque Científico de Madrid impulsa el desarrollo de numerosos proyectos e iniciativas. Además, en la capital se encuentran el Instituto de Sistemas Optoelectrónicos y Microtecnología (ISOM), dentro de la Universidad Politécnica de Madrid, y el Laboratorio de Física de Sistemas Pequeños y Nanotecnología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), entre otros.

#### Una curiosidad

El destacado interés por la nanotecnología en la Comunidad de Madrid se puede deber al hecho de que la Universidad Autónoma de Madrid fuera el segundo lugar del mundo que dispuso de un microscopio de efecto túnel (STM) hace ya veinte años.

- En *Cataluña*: cabe destacar la creación de Institutos de Nanotecnología y Nanobiotecnología, así como el Instituto de Biología Molecular de Barcelona y la red regional Nanobiocat.

- En el *País Vasco*: existe un Programa de Nanotecnología del País Vasco para fomentar la actividad científica en las universidades y centros de investigación que deseen involucrarse en la nanotecnología. También existe la Red Saretek (Red Vasca de Ciencia, Tecnología e Innovación), que nace en 1997 por impulso del Gobierno Vasco.

- En *Galicia*: encontramos NanoGalicia, una iniciativa de la Xunta de Galicia.

- En *Asturias*: se encuentran la Plataforma Nanotecnológica de la Universidad de Oviedo y el Instituto Nacional del Carbón (CSIC).

- En *Aragón*: se ha creado el Instituto Universitario de Investigación en Nanociencia de Aragón (INA).

#### Algunos resultados del apoyo gubernamental

El trabajo desarrollado en el campo de la nanotecnología ha empezado a generar ya **patentes** y aplicaciones prácticas en diversos campos. Éstos son tan variados que ocupan numerosos sectores, desde nanoobjetos hasta el desarrollo de sensores de aplicación biomédica o nanoestructuras catalíticas para ahorro energético.

Mis notas

Según datos de la base Europea de Patentes (Espacenet) y la Oficina Americana de Patentes y Marcas (USTPO), es frecuente encontrar patentes licenciadas por centros o empresas extranjeras en las que, gracias a colaboraciones entre entidades españolas y extranjeras, al menos uno de los inventores trabaje en España. La situación inversa, sin embargo, se da con menor frecuencia.

Las universidades y las empresas privadas patentan sus invenciones en nanotecnología en igual medida, copando cada una de ellas el 19% de las patentes encontradas. Este hecho resulta inusual en otras disciplinas, en las que los centros de investigación registran un número de patentes muy inferior al del sector privado.

Sobresalen las aplicaciones en la industria médica y farmacéutica. En el caso de los nanoelementos y nanoestructuras, se está trabajando en el conocimiento de un amplio abanico de éstos; sin embargo, casi el 70% de las invenciones hace referencia únicamente a nanopartículas y nanoagregados. Otro tipo de nanoelementos, como los fullerenes<sup>59</sup> o los nanotubos de carbono, en los que el trabajo de investigación está siendo profuso, no ha dado lugar, en este entorno, a patente alguna. Esto indica que aún es necesario un mayor esfuerzo investigador en España sobre estos materiales, para alcanzar un desarrollo suficiente que permita su aplicación industrial<sup>60</sup>.

59. El término español es fularenos, pero no se suele utilizar.

60. Datos procedentes del Informe Nano, nanotecnología en España, realizado por la Dirección General de Universidades e Investigación de la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid en colaboración con el proyecto NanoMat.

4

---

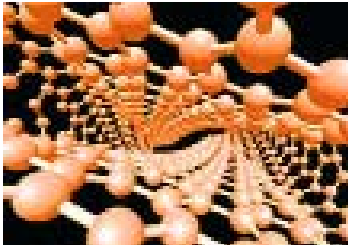
CAPÍTULO 4

# La Cadena de Valor

---

# 4

## La Cadena de valor



La cadena de valor ofrece una visión global del proceso que se sigue desde que se elabora un concepto científico hasta la entrega del producto al consumidor. No sólo implica la producción y distribución del producto, sino que también contempla las necesidades del consumidor. El objetivo de la cadena de valor es conseguir que las necesidades del consumidor sean satisfechas con las características del nuevo producto, es decir, crear valor para el cliente. Este valor se va generando a medida que se recorren las distintas fases que componen la cadena.

En el apartado anterior hemos visto que ya hay algunos avances nanotecnológicos en el mercado; sin embargo, el desarrollo de la industria está aún por llegar. A continuación se expone cómo se puede ir constituyendo la cadena de valor de la industria nanotecnológica teniendo en cuenta las distintas fases que la componen, así como los agentes y recursos humanos que pueden participar en ella.

### 4.1. Etapas de la cadena de valor

Desde que nace el concepto científico que origina el proceso de I+D hasta que el consumidor puede elegir un producto del lineal de un comercio, suelen pasar unos veinte años. Durante este largo lapso de tiempo, la idea científica debe ser plasmada en una aplicación práctica, que a su vez tanto la legislación como la industria deben absorber. Además, es necesario buscar los mecanismos de producción de la nueva aplicación para que el balance entre el coste de producción y el beneficio reportado al comprador sea razonable y la comercialización del producto final merezca la pena.

Por tanto, la dificultad añadida a este proceso está en el salto existente entre la ciencia base y la aplicación comercializada.

El recuadro adjunto muestra las cuatro fases esenciales de la cadena de valor.



Las crecientes investigaciones que se están generando en nanotecnología son absolutamente necesarias para que sea posible el paso a las aplicaciones. La conexión entre I+D y las aplicaciones es clave en la cadena de valor, ya que su éxito convertirá a la nanotecnología en una industria; de lo contrario, todo quedará en ciencia ficción. El paso de la nanociencia a la nanotecnología, por tanto, va a marcar todo el desarrollo de la cadena de valor.



Las aplicaciones prácticas que finalmente se logren se están enfrentando actualmente a los altos costes que supone su industrialización. Estos altos costes no permiten la viabilidad comercial de una gran parte de las aplicaciones, creando un cuello de botella. Ejemplo de esto son los nanotubos monocapa, los cuales no pueden ser producidos con su equipamiento actual en economías de escala; son inviables por su alto precio. La búsqueda de nuevos materiales y procesos que reduzcan costes es el objetivo prioritario para superar esta barrera.

En los inicios de la nanotecnología en los que nos hallamos, los consumidores se encuentran todavía en un segundo plano, ya que apenas se están empezando a comercializar productos con nanotecnología. La fase de I+D es en estos momentos la que ocupa el mayor esfuerzo.

Aún hay bastante incertidumbre sobre cuándo se puede producir el despegue de la industrialización y comercialización de productos y servicios basados en nanotecnología. Parece, según la opinión de los expertos del FTF, que en diez o quince años se podría producir el punto de inflexión en el que el esfuerzo en I+D y en la búsqueda de aplicaciones se vea superado por la producción a gran escala y la penetración en el mercado de los avances nanotecnológicos.

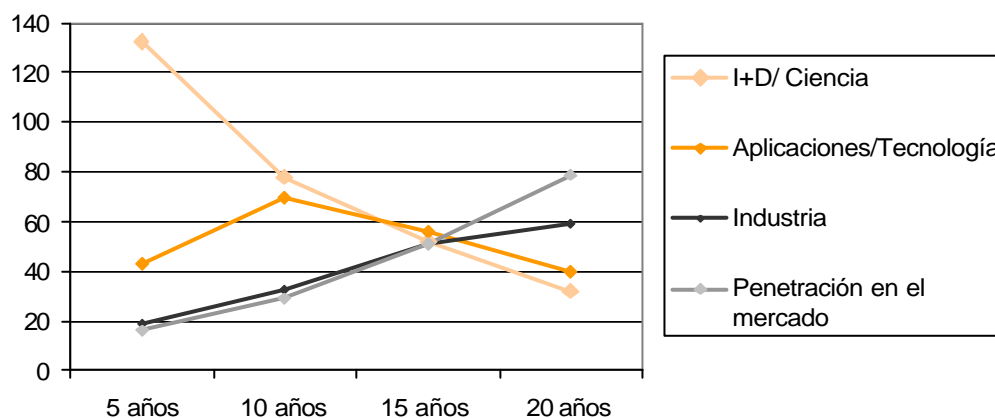


Ilustración 12: Evolución de las etapas de la cadena de valor para los próximos 20 años

Fuente: *Elaboración propia*

#### 4.2. Agentes que pueden impulsar la industria de la nanotecnología

En este apartado se van a analizar los agentes encargados de impulsar la nanotecnología para que se pueda seguir avanzando en el proceso de industrialización y penetración en el mercado de las aplicaciones nanotecnológicas.

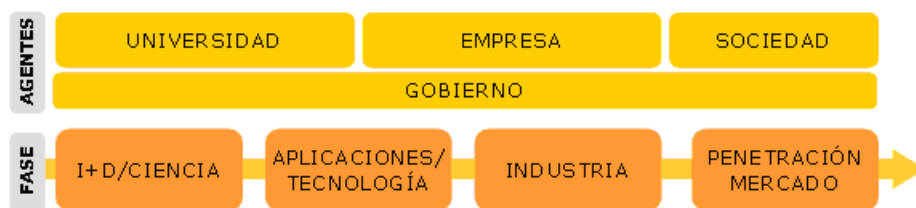
En muchas ocasiones, las primeras ideas innovadoras comienzan en ámbitos académicos, en los que en un primer momento no es necesario trabajar sobre la base de la rentabilidad de las invenciones. Lógicamente, en un segundo momento, para conseguir

financiación, *las universidades y otros institutos de investigación* necesitan mostrar las aplicaciones prácticas que esas ideas innovadoras tienen para el mercado. La nanotecnología ha seguido este patrón y la comunidad universitaria es la que actualmente está empujando los pasos incipientes de esta industria.

Paralelamente, el *tejido empresarial* es clave en el desarrollo de cualquier mercado. Normalmente, las empresas pueden tener un doble papel en esta escena. Por un lado, pueden invertir en I+D y empujar el desarrollo de nuevas aplicaciones, una actuación que suele proceder de grandes empresas con capacidad de inversión. Por otro lado, las empresas generan demanda y presión para avanzar en las fases de la cadena de valor y que las aplicaciones teóricas se conviertan en realidad al incluir los avances en los ciclos productivos.

Por parte de la *sociedad* también podría existir cierta presión, ya que los consumidores siempre buscan mejorar su calidad de vida. Sin embargo, en lo referente a la nanotecnología, aún es una gran desconocida para la gran masa y, por tanto, no parece que los consumidores finales vayan a ser un agente de cambio que impulse la llegada de esta nueva industria.

El *apoyo gubernamental* en todo el proceso de desarrollo de la nanotecnología puede tener un papel decisivo. Así, por ejemplo, en Estados Unidos, la iniciativa nacional para la nanotecnología (NNI) supuso un gran impulso para la investigación y el incremento de la inversión tanto pública como privada. Esta iniciativa, de hecho, fue imitada por otros países.



De esta forma, podríamos dividir a los agentes que intervienen en el proceso en dos categorías: los que generan las fuerzas de oferta (*push*), entre los que se encuentran la universidad, la industria y el gobierno, y los que generan las fuerzas de demanda (*pull*), con las multinacionales, las pymes y los consumidores.

Según la opinión de los expertos del FTF, la nanotecnología se convertirá en una industria gracias al empuje ejercido por la universidad y el gobierno, es decir, por las fuerzas de la oferta. Actualmente, las empresas y los consumidores (*pull*) aún están lejos de tener un papel protagonista dentro de la nanotecnología.

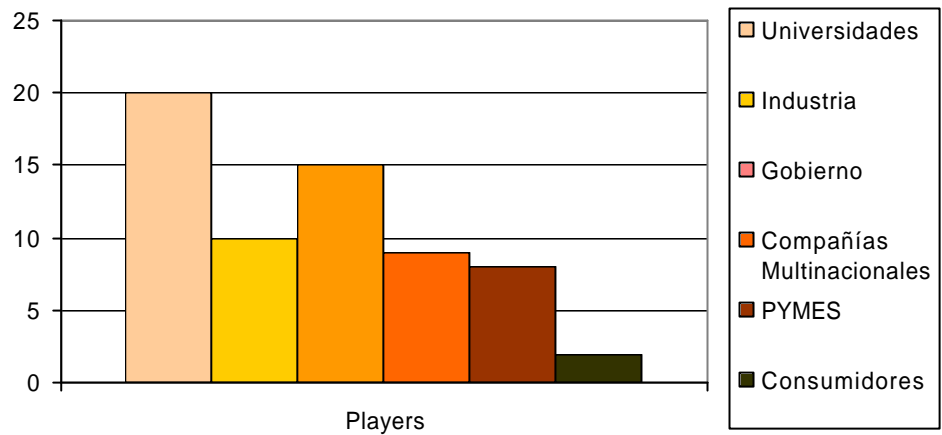
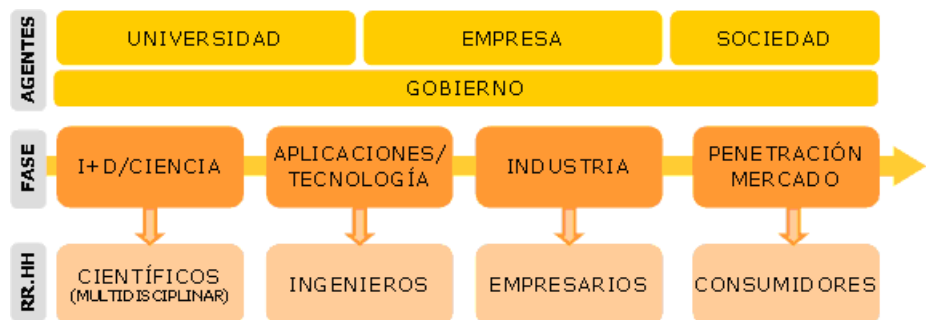


Ilustración 13: Influencia en el desarrollo de la nanotecnología en la actualidad  
Fuente: *Elaboración propia*

### 4.3. Personas influyentes en la nanotecnología

La emersión que la nanociencia y la nanotecnología están teniendo en la actualidad necesita personas bien formadas que puedan aportar conocimiento en las distintas fases de la cadena de valor. Su papel va a ser esencial en el desarrollo de la industria.

Así, mientras que los *científicos* han de seguir avanzando con la investigación en las distintas áreas de aplicación de la nanotecnología, es también necesario contar con personas preparadas que sean capaces de buscar aplicaciones reales que se puedan llevar al mercado. Por su parte, las fases de industrialización y comercialización tienen que apoyarse en *empresarios* que apuesten por la innovación y en empresas dispuestas a asumir algunos riesgos a cambio del posible beneficio de ser los primeros en un mercado muy prometedor.



Según datos de la encuesta de 2005 de la Asociación Europea de Nanonegocios (European NanoBusiness Association)<sup>61</sup>, conseguir personas con el perfil adecuado para trabajar en el sector de la nanotecnología es una tarea complicada o, al menos, tan difícil como encontrar personal especializado para otros sectores.

El hecho de estar ante una ciencia incipiente y la necesidad de una formación multidisciplinaria que aún no se ha desarrollado con programas formales son dos de los principales obstáculos que justifican la escasez de recursos humanos en este mercado.

How easy is it on scale of 1 to 5 to find personnel with the right skills?

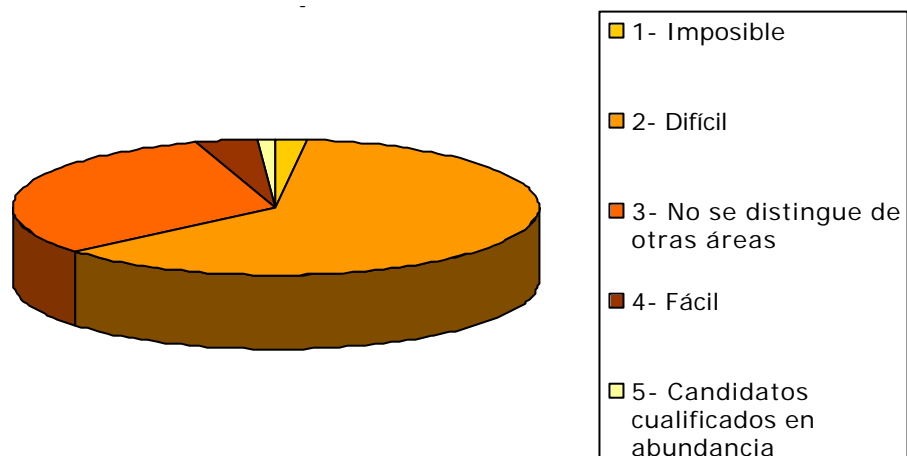


Ilustración 14: Facilidad para encontrar personas con el perfil adecuado para nanotecnología.  
Fuente: *The 2005 European NanoBusiness Survey - ENA.*

En cuanto a la calidad percibida de las personas que están actualmente involucradas en nanotecnología, los expertos del FTF establecen diferencias. Según los resultados obtenidos, se pueden distinguir dos grupos: por una lado, los empresarios, que aún tienen que involucrarse y formarse más en estos avances nanotecnológicos para que la nueva ciencia se convierta en una industria fuerte y rentable; por otro, los científicos dedicados a I+D y los que buscan aplicaciones prácticas, con un nivel de formación muy bueno, capaz de aportar gran valor en las fases de la cadena productiva en las que participan.

61. Página web:  
<http://www.nanoeurope.org/>

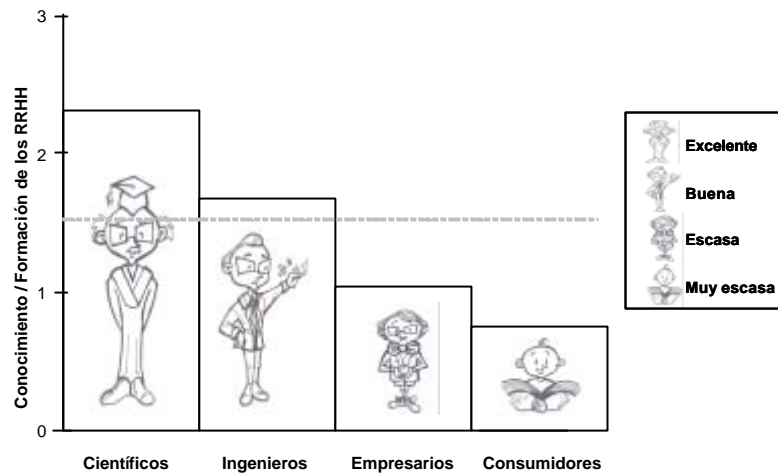


Ilustración 15: Nivel de formación de los recursos humanos. Fuente: *Elaboración propia*

Como apunte final, se puede decir que los consumidores tardarán aún en ser conscientes del potencial de la nanotecnología. Es posible, incluso, que éstos nunca lleguen a ser plenamente conscientes de los avances, ya que simplemente percibirán las mejoras que se produzcan en productos de los que ya eran usuarios, sin saber la tecnología que las hace posibles.

#### 4.4. Apoyos económicos en la cadena de valor

El apoyo financiero tiene un papel clave para conseguir que se produzca una transferencia del conocimiento tecnológico de los centros de investigación a la industria y los mercados. Para innovar en el desarrollo de nuevos productos y procesos, así como para penetrar en nuevos mercados, se necesitan inversiones, especialmente en la actualidad. Una estrecha cooperación entre la comunidad financiera y las compañías nanotecnológicas puede ayudar a acometer estos objetivos.

Mis notas

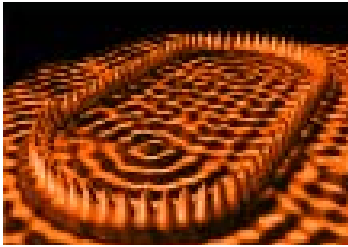
Así, las inversiones pueden abarcar distintos aspectos de la cadena de valor, desde proyectos de I+D hasta proyectos que divulguen el potencial de la nanotecnología dentro de la sociedad. Para el éxito de estas inversiones, dos aspectos serán de vital importancia: la selección del objetivo y del momento.

En el recuadro adjunto se muestra la cadena de valor al completo con todos los componentes necesarios que van a permitir el paso de un concepto científico a un producto de uso cotidiano.



Las áreas en las que se centrará el apoyo económico se podrían clasificar de la siguiente forma:

- *Becas y otras subvenciones a I+D:* las primeras fases de la cadena de valor tienen que venir apoyadas por inversión para poder convertir la ciencia en tecnología.
- *Instalaciones e infraestructuras:* la creación de instalaciones en las que se pueda desarrollar, aplicar y generar nanotecnología es clave para su futuro. Gran parte de las personas implicadas en nanotecnología van a converger en las mismas infraestructuras.
- *Herramientas:* poner a disposición de los investigadores las herramientas adecuadas a un coste competitivo es imprescindible para continuar innovando en nanotecnología.
- *Subvenciones a empresas:* la concesión de subvenciones u otro tipo de beneficios (que podrían ser fiscales) constituye un impulso para los empresarios en la creación de nuevas empresas en nanotecnología.



■ **Marketing:** es necesario poner en conocimiento de la sociedad el potencial que la nanotecnología puede tener en sus actividades cotidianas y así generar una demanda creciente en el mercado.

■ **Formación:** las personas protagonistas del desarrollo de la nanotecnología a lo largo de toda la cadena de valor necesitan recibir la formación adecuada que las haga competentes en su labor.

Como se puede observar en la ilustración 16, según los expertos del FTF, los apoyos económicos, con independencia de la fuente de la que procedan, deber ir distribuidos entre todos los resortes de la cadena de valor. Tan sólo hay leves diferencias: por ejemplo, la concesión de becas y otras formas de subvención para I+D y la creación de infraestructuras deben recibir más fondos públicos. Sin embargo, la inversión privada debería desempeñar un papel algo más predominante en la difusión de la nanotecnología a la sociedad y en el fomento de estudios multidisciplinarios.

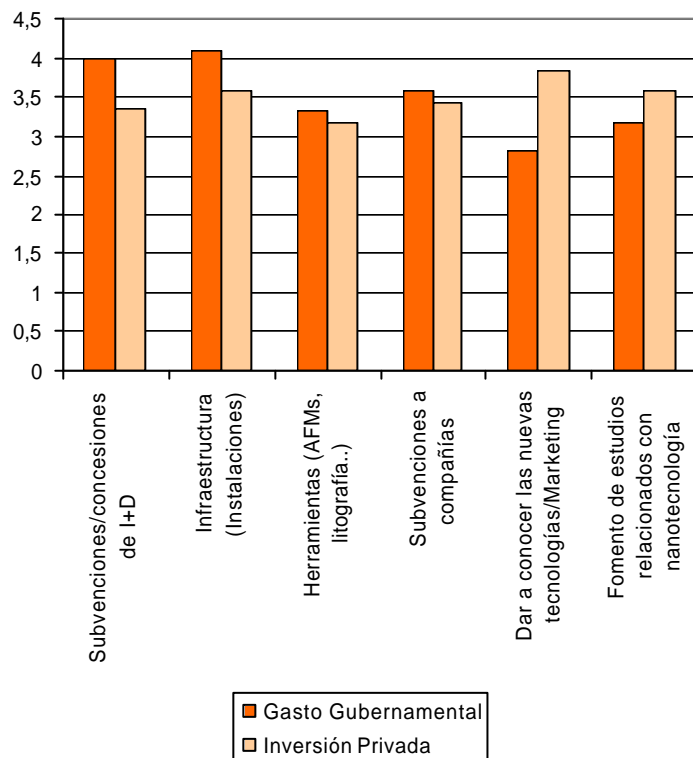


Ilustración 16: Prioridad de gasto del gobierno y el sector privado *Fuente: Elaboración propia.*

5



---

CAPÍTULO 5

# La Visión del FTF de la Nanotecnología

---

# 5

## La Visión del FTF de la Nanotecnología

**E**ste capítulo recoge la opinión de los miembros del FTF sobre el posible desarrollo e impacto de la nanotecnología a partir de la definición y de los precedentes presentados en los capítulos anteriores.

La información se ha obtenido de dos fuentes fundamentales:

- La realización de dos jornadas de trabajo a las que asistieron todos los miembros del Foro, consistentes en la exposición de varias presentaciones por parte de expertos mundiales, para pasar, a continuación, a una fase de opiniones en la que cada miembro ha tenido la oportunidad de dar su visión, tanto en grupos como individualmente.
- La realización de cuestionarios cuyo objetivo fue la obtención de la opinión conjunta de los miembros del Foro sobre la posible evolución y los impactos de la nanotecnología en los próximos años.

Los resultados obtenidos, apoyados en bibliografía actual consultada, se plasman en este capítulo. Las conclusiones se han organizado en los siguientes apartados: los indicadores que pueden acelerar o frenar el desarrollo de la industria, las diferencias existentes según los países o regiones involucrados, los riesgos derivados de esta nueva ciencia y la presión que la sociedad empieza a ejercer, los ámbitos en los que se centra la inversión en nanotecnología y un apunte final para acercar los avances al ciudadano.

### 5.1. Aceleradores y barreras de la nanotecnología

El desarrollo de la nanotecnología va a depender de una serie de factores que van a ser claves para determinar su éxito o fracaso. La presencia de aceleradores y barreras en un contexto difícilmente previsible como es la nanotecnología es el instrumento del que se valen los inversores a la hora de entrar a formar parte de la industria, ya que va a marcar su situación y velocidad de desarrollo.

Este apartado pretende aportar información útil para evitar inversiones prematuras o movimientos demasiados tardíos. Para ello, los miembros del FTF han identificado una serie de indicadores: aceleradores o factores que favorecerán el desarrollo de la nanotecnología y barreras o factores que podrán retrasarlo.

#### *¿Qué puede acelerar el desarrollo de la nanotecnología?*

El siguiente gráfico ilustra los principales aceleradores que se han identificado como factores que pueden favorecer el desarrollo de la nanotecnología. Junto a cada indicador se muestra la importancia que le dan los miembros del FTF, así como la probabilidad de que se produzca en los próximos cinco años.

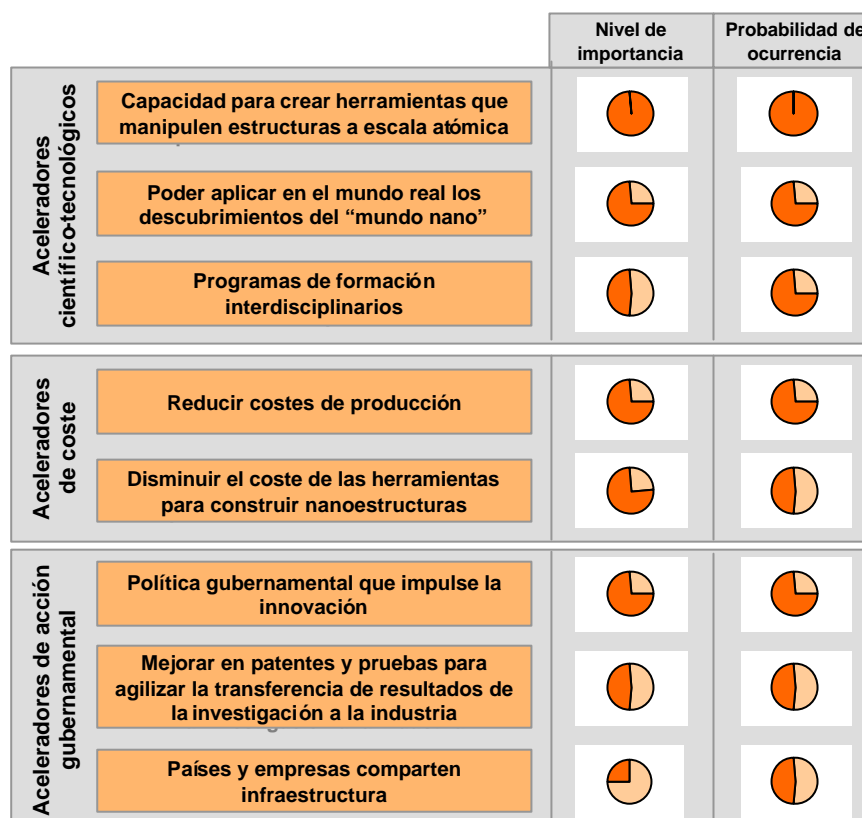


Gráfico 1: Importancia y probabilidad de los principales aceleradores de la nanotecnología  
Fuente: Elaboración propia

Mis notas

Los aceleradores que se han clasificado como de carácter *científico-tecnológico* son los que los expertos del FTF han considerado claves para el desarrollo de la industria. La prioridad número uno debe ser el desarrollo del equipamiento necesario para acometer las investigaciones científicas. Asimismo, la búsqueda de aplicaciones prácticas es esencial para atraer a los inversores hacia la nanotecnología.

En segundo lugar, como consecuencia natural de los primeros indicadores, los *aceleradores de coste* buscan el abaratamiento de las herramientas esenciales para la manipulación de las nanoestructuras, así como la viabilidad de los procesos industriales para el desarrollo de los avances nanotecnológicos.

En último lugar se encuentran los aceleradores que comprenden *acciones gubernamentales*. En este caso, es necesario remarcar que los expertos del FTF destacan especialmente la necesidad de desarrollar políticas gubernamentales que impulsen la innovación. Actualmente, como se ha visto, existen numerosas iniciativas de los gobiernos, pero es necesario un apoyo sostenido.

En general, los resultados obtenidos sobre los aceleradores tienen una correlación clara con la opinión otorgada por los expertos del FTF sobre los agentes de la cadena de valor que se van a encargar del desarrollo de la nanotecnología. Es decir, se trata de un mercado push, en el que tanto las universidades, en su papel investigador en busca de herramientas de manipulación a nanoescala o de aplicaciones prácticas, como el gobierno, mediante financiación conjunta con empresas o con políticas que favorezcan la innovación, van a ser los que aceleren la evolución de la nanotecnología.

### ¿Qué puede frenar el desarrollo de la nanotecnología?

De manera similar al tratamiento de los aceleradores, se han valorado las barreras según su importancia en el freno al desarrollo y su probabilidad de materializarse a corto plazo.

		Nivel de importancia	Probabilidad de ocurrencia
<b>Barreras financieras</b>	Falta de inversión pública		
	Falta de inversión privada		
	Falta de infraestructura		
	Inversión dispersa entre diferentes sectores en vez de inversión centrada en proyectos específicos		
<b>Barreras de cooperación</b>	Falta de coordinación entre universidades y empresas		
	Falta de coordinación entre países/regiones		
<b>Barreras político-sociales</b>	Presión social para evitar efectos perjudiciales o no éticos derivados de la nanotecnología		
	Falta de regulación específica en nanotecnología y sus aplicaciones		

Gráfico 2: Importancia y probabilidad de las principales barreras de la nanotecnología

Fuente: Elaboración propia

Así, las principales *barreras* para el desarrollo de la nanotecnología pueden venir de la *financiación*. Los expertos del FTF opinan que la inversión tanto pública como privada es un factor clave para el desarrollo de la cadena de valor. En estas primeras etapas, es especialmente necesaria una inversión orientada a la creación de infraestructuras que faciliten el acceso a avances nanotecnológicos a un mayor número de agentes.

En segundo lugar, se puede hablar de *barreras por la falta de cooperación*. En este caso, los expertos destacan la necesidad de una estrecha coordinación entre los investigadores (que están principalmente en las universidades) y las empresas encargadas de desarrollar aplicaciones prácticas con los avances en nanotecnología.

Finalmente, existen también unas *barreras* que se pueden denominar *sociopolíticas*. La sociedad ejercerá con alta probabilidad una fuerte presión ante la incertidumbre de los posibles efectos perjudiciales o usos no éticos de la nanotecnología. La existencia de una regulación específica para estos casos será un tema clave, aunque no a corto plazo, sino cuando comience la comercialización masiva de productos fabricados con nanotecnología.

En términos generales, en la ilustración se puede apreciar cómo los expertos del FTF opinan que las barreras identificadas tienen una menor importancia que la mayor parte de los aceleradores. Se puede interpretar, por tanto, la existencia de un mayor peso por parte de los aceleradores, lo que permitiría vaticinar que la balanza de la nanotecnología se decantará por el lado del éxito.

## 5.2. Evolución de la nanotecnología por regiones

La nanotecnología tiene en la actualidad un desarrollo muy diferente, según las diferentes regiones. La presencia de mercados de capital riesgo maduros en países desarrollados hace que éstos cuenten con una mayor presencia de compañías que trabajan en nanotecnología.

La mayor o menor evolución de los países en materia de nanotecnología va a depender principalmente del gasto público y privado, así como de la cantidad y calidad de los recursos humanos implicados en este campo. Es posible que los líderes del futuro no sean los mayores inversores de hoy, ya que el aumento de profesionales cualificados puede potenciar enormemente a un país en nanotecnología.

En la ilustración 17 se observa la presencia de nanotecnología en los diferentes países según el porcentaje del total de publicaciones científicas encontradas para un período de tiempo reciente.

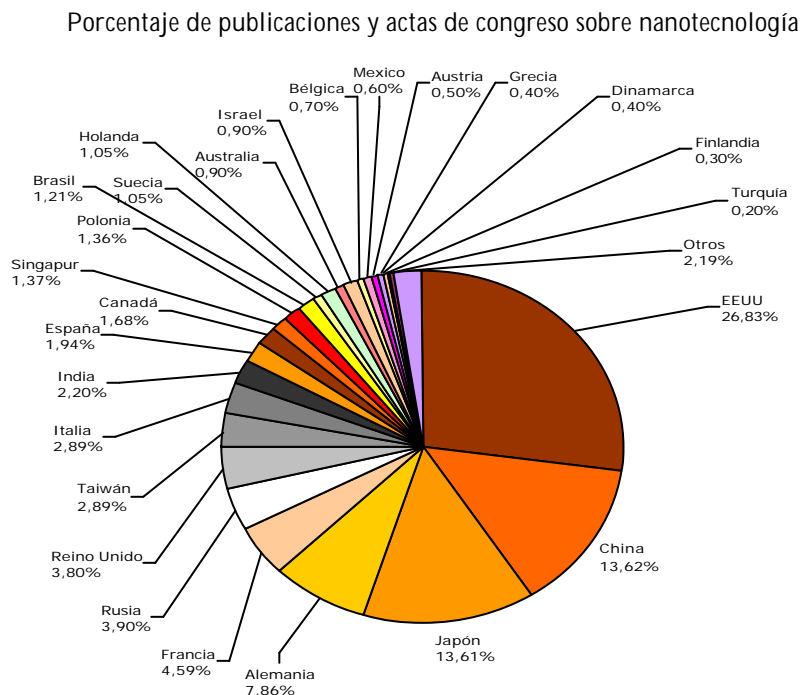


Ilustración 17: Distribución por países de las publicaciones y actas de congresos sobre nanotecnología, encontradas en INSPEC para el período 2003-2004

Fuente: Publicación "Nanotecnología en España" de la Fundación Madri+d



A la cabeza se encuentran los países con mayor tradición científica y tecnológica, como Estados Unidos, Japón y Alemania. Éstos no sólo lideran el campo de la nanotecnología, sino que también son las primeras potencias mundiales en ciencia en general. Igualmente, entre los países más productivos en nanotecnología, se encuentran potencias como China y la India, con economías, a priori, más modestas que la americana o la europea. Las grandes expectativas levantadas por la nanotecnología han impulsado a estos países a realizar un esfuerzo por no “perder el tren” de esta disciplina, con el retraso científico, tecnológico, industrial y económico que ello conllevaría.

Mención especial merece Israel, que, a pesar de no resaltar en publicaciones, ha sido incluido como una gran potencia por los importantes resultados que está cosechando en nanotecnología y por los numerosos acuerdos que le permiten situarse entre las regiones destacadas del desarrollo nanotecnológico.

### La carrera por liderar la nanotecnología

Uno de los indicadores que mejor pueden ilustrar el desarrollo de la nanotecnología en un país es la **calificación de sus profesionales**, que, según las regiones, puede variar enormemente. En la ilustración 18 se muestran las regiones con profesionales más cualificados actualmente y la previsión que los expertos del FTF han realizado para los próximos cinco y diez años.

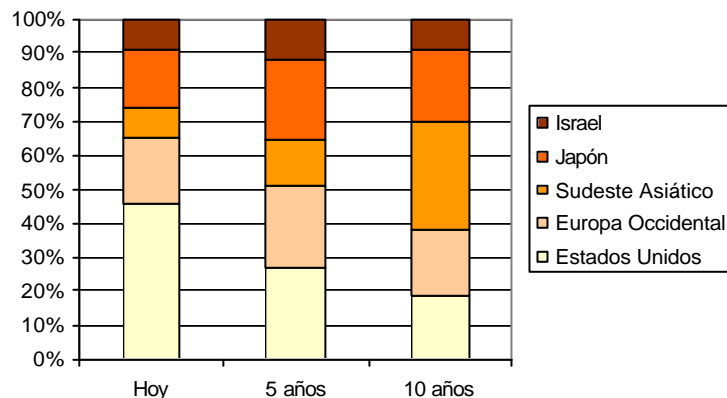


Ilustración 18: Profesionales más cualificados por regiones a corto y medio plazo.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, Estados Unidos tiene una posición de *liderazgo* en la **actualidad** al poseer la mayor masa crítica de investigadores competentes en centros universitarios, así como por el mayor número de profesionales competentes encargados de los proyectos y empresas existentes. En segunda posición de *perseguidores* se encuentran Europa Occidental y Japón, cuyo apoyo a materias relativas a la nanotecnología está yendo en aumento con el fin de conseguir un incremento de profesionales cualificados en nanotecnología. Por último, hoy día se encuentran *a la zaga* el Sudeste

Asiático e Israel. Países como China, Taiwán o Singapur cuentan con un potencial enorme para generar profesionales dedicados a la nanotecnología, aunque aún juegan en una liga inferior.

Israel, aunque es un país de poca población, puede ocupar un puesto importante dentro de un nicho de mercado. Por su parte, Estados Unidos va a continuar a corto plazo con su posición de *liderazgo*, aunque con un margen mucho más reducido, ya que las regiones *perseguidoras* (Japón y Europa) habrán aumentado sus niveles de eficiencia con profesionales cada vez más cualificados.

A *medio plazo* (dentro de diez años), los expertos del FTF prevén un vuelco en la posición de los países en cuanto a la calidad de la formación de las personas implicadas en la nanotecnología. El Sudeste Asiático pasará a ocupar una posición de líder, donde China generará muchos más ingenieros y científicos que Estados Unidos, gran cantidad de los cuales recibiendo formación en el extranjero. El gran reto de estos países será retener su personal cualificado. Por su parte, Japón, Estados Unidos y Europa *perseguirán* a estos países intentando captar profesionales experimentados mientras que Israel se mantendrá en un nicho de mercado.

En términos de *competitividad por regiones*, las diferencias son muy similares a las vistas anteriormente en la calidad de la formación de los recursos humanos.

En la ilustración 19 se muestra la impresión que los expertos del FTF ofrecen sobre la competitividad a corto y medio plazo de las diferentes regiones que están desarrollando nanotecnología.

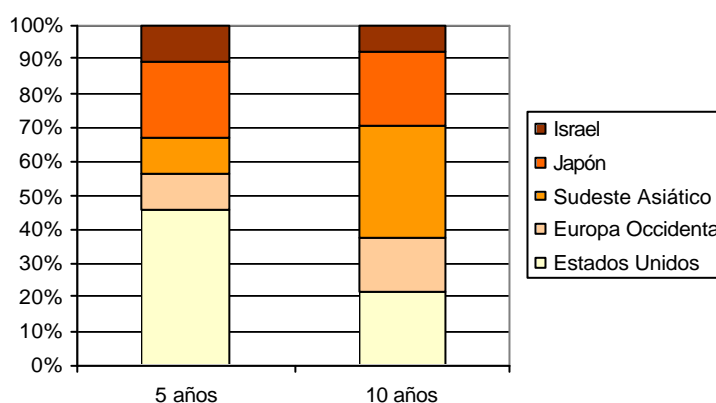


Ilustración 19: Competitividad de las regiones a corto y medio plazo. Fuente: *Elaboración propia*.

Estados Unidos ocupará, a *corto plazo*, una posición de *liderazgo* por la mayor implicación de su Administración Pública con cuantiosos fondos de investigación y desarrollo de la nanotecnología, y por su talento humano e innovación. Es muy consciente de que se trata del sector que protagonizará la próxima "ola tecnológica" con capacidad de revolucionar la industria y la mayor parte de las empresas del país.



Los expertos del FTF sitúan como inmediato *perseguidor* a Japón en lo que a competitividad se refiere. Las iniciativas japonesas financiadas por su gobierno tienden a centrarse en la manera de mejorar los materiales utilizados para fabricar aparatos convencionales y cuentan, además, con una notable ventaja tecnológica en el campo de los nanotubos de carbono de aplicación en tecnología ya existente.

Por detrás se sitúan Europa, el Sudeste Asiático e Israel, cuyas iniciativas se espera que maduren más a medio plazo.

En este sentido, al igual que en la anterior ilustración, los expertos prevén a medio plazo un cambio en el *liderazgo* por el fuerte impulso que se espera que desarrolle el Sudeste Asiático para entonces. El creciente número de empresas e investigadores que se dedican a la nanotecnología, junto con su especialización en áreas específicas de este campo, permite prever un panorama alentador para esta región.

Así, se han identificado diferentes impulsos para la evolución de la nanotecnología que las regiones o países intentan desarrollar con el fin de protagonizar el progreso nanotecnológico.

Los expertos del FTF han determinado en este sentido las fortalezas de cada región:

■ Estados Unidos se caracteriza por su capacidad para desarrollar todas las iniciativas de forma simultánea, si bien los expertos destacan este país por la coordinación existente tanto en diferentes disciplinas como entre universidades y empresas.

■ Con respecto a Europa, los expertos opinan que, a pesar de que se están realizando acciones crecientes para el desarrollo de la nanotecnología tanto en política gubernamental como en los diferentes sectores, al Viejo Continente le queda todavía un gran camino por recorrer en todos los aspectos para situarse en una posición de liderazgo o cercana, al menos, a su más directo competidor, que es Estados Unidos.

■ En cuanto al Sudeste Asiático, su especialización en productos acabados, especialmente en el sector de la electrónica, y el desarrollo de infraestructuras son sus principales ventajas competitivas frente a otras regiones.

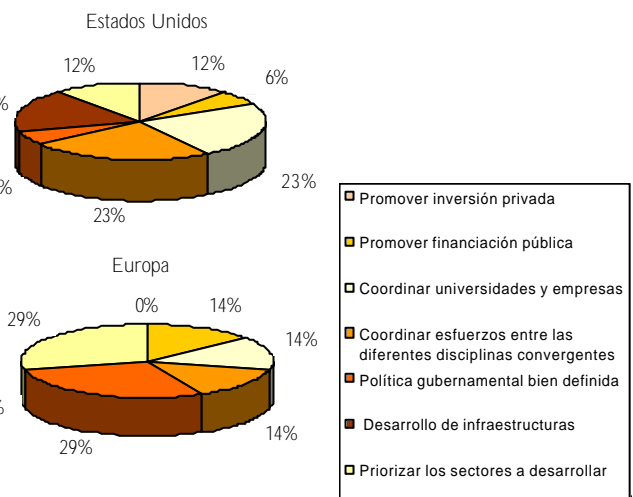


Ilustración 20: Principales fuerzas de EEUU, Europa y el Sudeste asiático  
Fuente: Elaboración propia

Mis notas

### *Nanotecnología, la gran esperanza para países en vías de desarrollo*

Los países en vías de desarrollo tienen ciertas limitaciones para realizar proyectos de investigación en nanotecnología, lo que les llevará a importar nanoprodutos y procesos de los países desarrollados. Ante esta situación, la nanotecnología puede, por una parte, empeorar la situación de estos países, ya que probablemente reducirá la demanda de sus exportaciones, principalmente en materias primas; sin embargo, por otra parte, puede ser la pieza clave para la solución de muchos de los problemas que los acosan.

Hoy día son pocos los proyectos de nanotecnología que van dirigidos a solucionar temas de pobreza. Sin embargo, la nanotecnología puede ofrecer importantes beneficios a los países en vías de desarrollo. El Centro Internacional de Ciencia y Alta Tecnología de Naciones Unidas trató este tema en una reunión celebrada en febrero de 2005 sobre el "Diálogo Norte-Sur sobre Nanotecnología"<sup>62</sup>, en la que se partía de tres premisas básicas: "a) es erróneo asumir que la nanotecnología es demasiado difícil o demasiado cara para ser abordada por países en vías de desarrollo; b) la nanotecnología puede ofrecer importantes beneficios a países en desarrollo y tratar de ayudar en áreas como la salud, el medio ambiente o la economía; c) si no se abordan estos problemas, la distancia entre países desarrollados y países en desarrollo se incrementará".

El programa canadiense sobre salud global y genómica (CPGGH)<sup>63</sup> también avanza en esta línea. Este programa determinó diez áreas de aplicación nanotecnológica con impacto en países en vías de desarrollo hasta el umbral de 2015 relativas al agua, la agricultura, la nutrición, la salud, la energía y el medio ambiente.

En la ilustración 21, los expertos del FTF opinan sobre el diferente impacto de esas áreas según el tipo de países. Como se puede observar, el sector de la agricultura, el tratamiento de aguas o el almacenamiento y procesamiento de los alimentos son áreas que pueden marcar la diferencia en países en vías de desarrollo. Por su parte, las aplicaciones relacionadas con la nanobiomedicina (administración de medicamentos, diagnóstico de enfermedades o seguimiento personalizado del paciente) tendrán su mayor impacto en los países desarrollados que tienen la infraestructura previa necesaria para que estos avances puedan implantarse.

62 Página web: "North-South Dialogue on Nanotechnology: Challenges and Opportunities", International Centre for Science and High Technology ([www.ics.trieste.it](http://www.ics.trieste.it)).

63 Página web: [http://www.utoronto.ca/jcb/home/documents/PLoS\\_nanotech.pdf](http://www.utoronto.ca/jcb/home/documents/PLoS_nanotech.pdf).

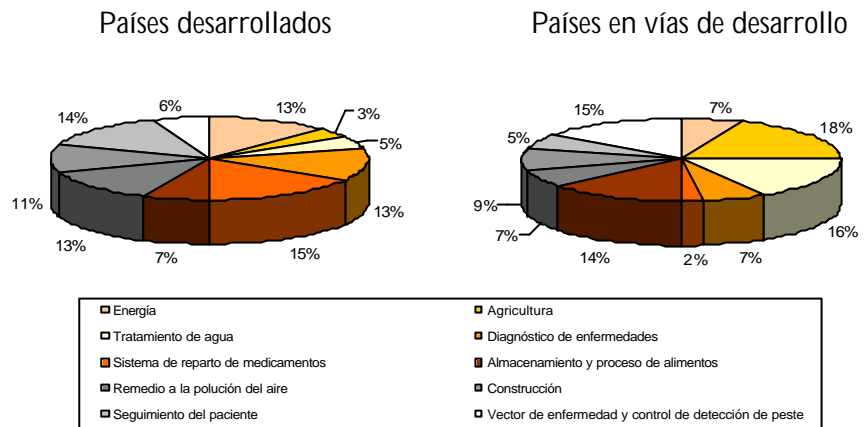


Ilustración 21: Áreas de aplicación con mayor impacto en países desarrollados y en vías de desarrollo.  
Fuente: Elaboración propia

En todo caso, energía limpia y abundante, diagnósticos médicos más eficientes o nuevos métodos de filtración de agua son algunas de las aportaciones que la nanotecnología tendrá sobre los países en vías de desarrollo. Algún día, en una remota población de uno de los países en vías de desarrollo, un médico pondrá una gota de sangre de algún paciente en un trozo de plástico del tamaño de una moneda y, en unos minutos, se emitirá un diagnóstico completo para el análisis de enfermedades infecciosas como la malaria, el sida e, incluso, el cáncer.

Varios de los países en vías de desarrollo han lanzado ya sus propias iniciativas en nanotecnología. China es el tercero del mundo, únicamente por detrás de Estados Unidos y Japón, en número de patentes adquiridas en nanotecnología. La India va a aumentar su inversión en nanotecnología considerablemente para los próximos años, mientras que Brasil es otro de los países en vías de desarrollo que proyectan gran cantidad de inversión en nanotecnología a corto plazo.

Una visión más pesimista opina que la nanotecnología se enfrentará a las mismas dificultades a las que se enfrentaron otras tecnologías anteriores. Las compañías multinacionales están patentando la mayoría de los productos nanotecnológicos. Las patentes son garantías monopolísticas que reportan ganancias durante veinte años, circunstancia que va en contra de la rápida difusión de los beneficios potenciales de la nanotecnología en países en vías de desarrollo.

### 5.3. Riesgos derivados de la nanotecnología y presión social

A estas alturas, el lector ya se ha hecho una idea del amplio rango de aplicaciones que tiene, o tendrá en un breve lapso de tiempo, la nanotecnología. En este capítulo se analiza cómo pueden incidir la legislación y la opinión pública en su desarrollo y cuál es el alcance de la nanotecnología en distintos ámbitos: economía, sociedad o medio ambiente, entre otros

#### *Ámbitos en los que la nanotecnología presenta riesgos*

Las partes implicadas en los distintos procesos nanotecnológicos están interesadas en mantener los riesgos bajo control. Debido a que el potencial de la nanotecnología es inmenso, es necesario velar por que nada trunque su camino. Los riesgos atañen a ámbitos como la ética, los servicios sanitarios o la competencia. Esto quiere decir que es necesario vigilar las aplicaciones y la evolución de la nanotecnología en los ámbitos más afectados.

Las siguientes áreas ilustran cómo podría afectar la nanotecnología a distintos ámbitos:

- *Libertades personales*: la comercialización de superordenadores muy pequeños y baratos permitiría la vigilancia permanente de cuantos países, ciudades, edificios, hogares, etc. se quiera. El peligro adicional es la posibilidad de que una empresa privada monopolice el mercado.
- *Sociología*: la nanotecnología facilitará el nacimiento de nuevos estilos de vida que cambien el empleo del tiempo de ocio y que afecten especialmente a las drogas o a la modificación del cuerpo. El desequilibrio social potencial es asombroso. ¿Con qué principios éticos se deben marcar los límites?
- *Armamento*: el proceso de fabricación de nanoarmas es mucho más discreto que el de la energía nuclear. Además, estas armas pueden llegar a ser mucho más mortíferas. Por ejemplo, la cantidad de cien nanogramos de la toxina del botulismo es letal para una persona. En una maleta se pueden almacenar 50 billones de artefactos con la toxina del botulismo que harían desaparecer el planeta. Citando al militar americano Jeremiah<sup>64</sup>, “las aplicaciones militares de la fabricación molecular tienen incluso más potencial que las armas nucleares para cambiar de forma radical el equilibrio de poder”<sup>65</sup>.
- *Economía*: siempre es complicado hacer predicciones macroeconómicas sobre una nueva tecnología. En el caso de la nanotecnología, se vaticinan grandes cambios en la estructura industrial que afectarán a todo tipo de empresas. La evolución del desempleo es una gran incógnita y puede ser un riesgo para el desarrollo económico de los diferentes países.

64. El Admiral David E. Jeremiah fue vicepresidente del mando militar de Estados Unidos.

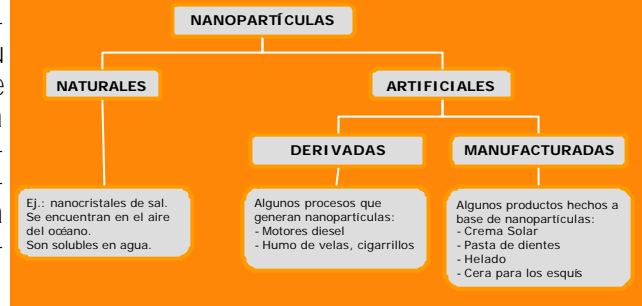
65. Página web: [http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia\\_responsable/riesgos\\_nanotecnologia\\_armas.htm](http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia_responsable/riesgos_nanotecnologia_armas.htm).



Merecen especial atención los campos de la medicina y el medio ambiente, donde el riesgo es más inminente. Para poder entenderlos es necesario una explicación previa sobre el origen del riesgo: las nanopartículas.

A corto plazo, el principal riesgo proviene de las nanopartículas, ya que cualquier tipo de nanopartícula puede ser nocivo. Según informa la Unión Europea, "el peligro depende de la naturaleza de la nanopartícula, de su tamaño y de su superficie activa, del individuo que la absorbe y del órgano estudiado. Además, es a menudo diferente según sea la exposición única o periódica"<sup>66</sup>.

Las nanopartículas se pueden dividir en: naturales o artificiales. Este último grupo se divide a su vez en manufacturadas, aquellas que son objeto de producción, y aquellas derivadas de procesos industriales, de la contaminación en la carretera.



En este sentido, se corrobora una vez más la necesidad de llevar a cabo estudios sobre cada una de las partículas que se utiliza, investiga o produce, para determinar sus efectos positivos o negativos.

A continuación se muestran dos ámbitos que se encuentran bajo un riesgo potencial e inminente:

■ **Toxicología/medicina:** la preocupación más inmediata para la medicina es la toxicidad de las nanopartículas. Las nanopartículas libres pueden introducirse en el cuerpo humano por inhalación, ingestión o vía cutánea. La investigación médica debe extremar actualmente las pruebas clínicas en la primera fase de desarrollo de medicamentos y aplicaciones para asegurar la salud y la seguridad de los trabajadores, y en un futuro la de todos los ciudadanos. Hasta la fecha no existen pruebas de que las nanopartículas supongan un riesgo para las personas, pero no se dispone aún de toda la información necesaria<sup>67</sup>.

Por este motivo, los laboratorios y centros de investigación se centran actualmente en la investigación sobre enfermedades pulmonares y cardiovasculares provocadas por inhalación de nanopartículas, acumulación de nanopartículas no biodegradables en el hígado y absorción de nanopartículas hacia el cerebro.

■ **Ecotoxicología/medio ambiente:** el riesgo más inmediato que se puede materializar en este campo es la contaminación del medio ambiente debido a las nanopartículas que se generan, por ejemplo, en los procesos de combustión. ¿Seremos capaces de crear a través de la nanotecnología una herramienta que solucione este problema?

66. Véase [http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/47/01/print\\_article\\_3570\\_es.html](http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/47/01/print_article_3570_es.html).

67. Más información en [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org).

### *Medidas preventivas frente a los riesgos de la nanotecnología*

La nanotecnología deberá atender en su desarrollo a diversos riesgos infundados y reales desde el punto de vista legal y ético.

#### *Legislación*

Una regulación adecuada en el campo de la nanotecnología es una herramienta eficaz para prevenir riesgos reales y percibidos, así como para garantizar la salud y la protección del medio ambiente, especialmente.

En este sentido, la legislación debe adaptarse para poder atender las necesidades de la nanotecnología. Debido a que los volúmenes o masas de producción están regulados hasta un umbral determinado, por debajo del cual la materia está libre de regulación, será necesario elaborar normas específicas para los productos y aplicaciones nanotecnológicas. Para ello, es necesario construir primero los instrumentos de medición necesarios, desde la disciplina de la metrología.

De momento, sólo aquellas personas cuyo trabajo está relacionado con la nanotecnología pueden verse expuestas a la toxicidad de las nanopartículas.

En suma, desde la Unión Europea se aboga por el principio de prudencia: es decir, por conocer la realidad de la nanotecnología, en contra de las llamadas a favor de una moratoria en la investigación.

#### *Ética*

Los valores éticos que impedirán el desarrollo de aplicaciones negativas nanotecnológicas son el respeto de la dignidad, el principio de la autonomía del individuo, el principio de justicia y de beneficencia, el principio de libertad de investigación y el principio de proporcionalidad<sup>68</sup>. En este campo, al contrario que en el de la legislación, sí es positivo valerse de los documentos ya existentes, como, por ejemplo, la Carta de los derechos fundamentales de la Unión Europea<sup>69</sup>.

### *Presión social*

El debate político sobre nanotecnología no ha llegado todavía al gran público. Sin embargo, partidos políticos, ONG, medios de comunicación y otras partes interesadas han iniciado ya el proceso. Es sólo cuestión de tiempo que el gran público entre en juego.

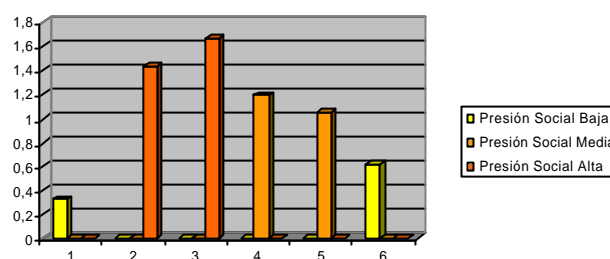
En el interin, la Comisión Europea, el Parlamento Europeo y los órganos de gobierno nacionales son conscientes de que deben aprovechar este breve lapso de tiempo. De hecho, algo se ha aprendido tras la oposición y el rechazo públicos a los alimentos genéticamente modificados.

68. Para más información, léase la Comunicación de la Comisión: Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías, mayo de 2004, Bruselas.

69. Véase [http://www.europarl.eu.int/charter/default\\_es.htm](http://www.europarl.eu.int/charter/default_es.htm).

### La presión social según el FTF

De acuerdo con los expertos del FTF, la presión social se centrará especialmente en temas de seguridad y de medio ambiente. Por este motivo, los riesgos que se perciben como más polémicos son la emisión de nanopartículas no controlables que supongan un riesgo para el medio ambiente y el uso de nanosensores invisibles que violen la privacidad del individuo, seguidos de cerca por la fiabilidad a largo plazo, así como la detección, eliminación y prevención de defectos potenciales de los nanocomponentes.



1. Derechos de propiedad intelectual en riesgo.
2. Nano-sensores invisibles que violan la privacidad del individuo,
3. Emisión de nanopartículas no controlables que suponen un riesgo para el ambiente.
4. La fiabilidad a largo plazo, detección, eliminación y prevención de defectos potenciales de los nano-componentes puede que sean un riesgo.
5. La seguridad de los trabajadores y consumidores puede que esté en riesgo por la existencia de nanopartículas no detectables.
6. Riesgos políticos dado el impacto de NT en el desarrollo económico de las diferentes regiones.

Ilustración 22: Focos de presión social. Fuente: *Elaboración propia.*

### Aún está pendiente el gran salto

Por mucho que la Unión Europea haya comenzado el debate y ya se hayan identificado los riesgos que potencialmente más controversia pueden atraer, la presión social, al igual que la revolución nanotecnológica, está por llegar, aunque lo hará de forma inminente.

Grupos religiosos, ONG, sindicatos y prensa deben hacer presión para que el interés público por el debate nanotecnológico crezca. Hoy por hoy existen dos grupos de presión activos en el campo de la nanotecnología:

- *ETC group*<sup>70</sup>, citado en la prensa habitualmente, publica informes sobre nanotecnología con el objetivo de concienciar a la sociedad de los problemas que esta nueva dimensión tecnológica puede conllevar.
- *Greenpeace Environmental Trust*<sup>71</sup>, cuyos objetivos son promover la inversión para que se investigue en el ámbito de la salud y comprometer a la industria para que sus prácticas no sean nocivas para el medio ambiente.

70. Véase <http://www.etcgroup.org>.

71. Véase <http://www.greenpeace.org.uk/contentlookup.cfm?SitekeyParam=C-B>.

Es posible que, sin la información adecuada, la presión social se centre en riesgos infundados o fantasmas. "Un riesgo fantasma se refiere a un fenómeno que la población percibe como una amenaza, aunque no se haya demostrado científicamente una

conexión causal<sup>72</sup>. Esto debe evitarse desde las autoridades y organismos públicos con la difusión de información.

### *Cómo integrar la dimensión social de la nanotecnología*

Asimismo, gobiernos y promotores de la nanotecnología deben aprovechar el desconocimiento reinante para lanzar una visión positiva de la nanotecnología y hacer que el debate empiece con conocimiento de causa.

El objetivo final es mostrar al público general la seguridad que aporta la nanotecnología, para así construir confianza. Si el gran público llegara a percibir la nanotecnología como algo negativo, su desarrollo podría verse frenado. ¿Cómo se puede ofrecer información verídica?

- *Fomentando el diálogo.* En numerosas ocasiones se ha acusado a la comunidad científica de estar aislada, sin conexión con el mundo externo. Por este motivo, es imprescindible fomentar el diálogo fluido entre las partes interesadas.
- *Ofreciendo transparencia* en lo que respecta a los resultados de la investigación. Debido a que pasarán años hasta que se puedan evaluar los riesgos y peligros de la exposición a las nanopartículas, el único reflejo disponible hasta entonces es el conocimiento.

Ahondando en esta línea para un desarrollo responsable, la Dirección General de Sanidad y Protección de los Consumidores de la Comisión Europea<sup>73</sup> reunió en 2004 a un grupo de expertos en un taller llamado Mapping Out Nano Risks ("Planificando los nanorriesgos"). En el informe se recomienda una serie de acciones, entre las que se encuentran las siguientes:

- Crear una nomenclatura que, por un lado, clasifique los nanomateriales en proceso de investigación y, por otro, regule las nanopartículas manufacturadas mediante un número único de acceso asignado por el Servicio de Abstractos Químicos<sup>74</sup>. La asignación de este número a cada nanopartícula conllevaría la realización de tests de toxicología, una medida más de seguridad.
- Desarrollar instrumentos de metrología.
- Fundar una institución supranacional que monitorice el desarrollo de las nanotecnologías y evalúe la conveniencia de una regulación más específica en el futuro.
- Establecer un diálogo fluido con el público y la industria para garantizar que ambos toman parte en el proceso de decisión.

72. En Nanotechnology: Small matter, many unknowns, pág. 40, publicado por Swiss Re., 2004.

73. Véase [http://europa.eu.int/comm/dgs/health\\_consumer/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/dgs/health_consumer/index_en.htm).

74. Véase <http://www.cas.org>.



#### 5.4. Algunas pinceladas sobre inversión en nanotecnología

El fuerte impacto previsto de la nanotecnología sobre la economía implicará necesidades de financiación para su evolución con éxito. Para desarrollar nuevos productos y procesos, además de para penetrar en nuevos mercados, serán necesarias grandes inversiones, especialmente en una fase de inicio como en la que se halla actualmente. En este sentido, la inversión pública de los gobiernos y la inversión privada de capital riesgo por parte de las empresas van a resultar claves.

##### ¿En qué estado se encuentra la inversión?

La inversión en nanotecnología se encuentra actualmente en fase de crecimiento. Su incesante incremento denota un aumento significativo del interés por el potencial de la nanotecnología tanto por parte de los gobiernos como por parte del entorno empresarial, si bien todavía la financiación pública a través de los gobiernos es la que está impulsando su desarrollo, como se pudo observar en el apartado de la cadena de valor. En la fase de investigación actual, el sector público financia acciones que impulsen la evolución de la nanotecnología para permitir la entrada del sector privado. La tendencia actual prevé un cambio en la inversión, con el sector privado como principal impulsor de la financiación de cualquier actividad relativa en este campo.

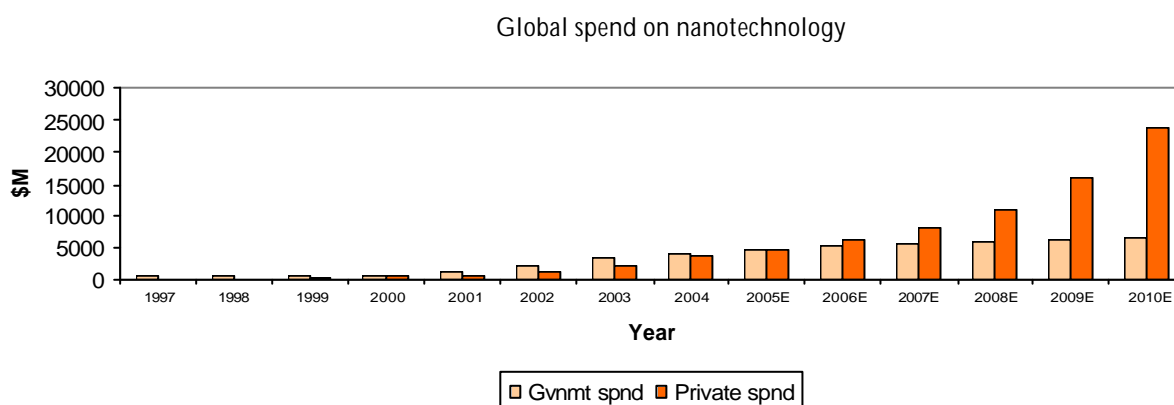


Ilustración 23: Comparativa de gasto público y privado en nanotecnología. 1997-2010. Fuente: Científica

En este sentido, se estima que a partir de 2006 comenzará el cambio hacia una mayor implicación del sector privado sobre el público, que se desmarcará aún más con el tiempo.

Para situar el contexto, a continuación se aportan datos que ilustran sobre la inversión pública y privada realizada en 2004 por regiones. De acuerdo con datos de Científica<sup>75</sup>, sobre las inversiones en 2004, el sector público aportó alrededor de 4.100 millones de dólares. Estos 4.100 millones de fondos públicos destinados a la nanotecnología se reparten por regiones en el mundo de la siguiente forma:

75. En su publicación Where has my money gone?, enero de 2006.

- Estados Unidos: 1.149 millones de dólares.
- Japón: 960 millones de dólares.
- Europa: 1.380 millones de dólares.
- Resto del mundo: 644 millones de dólares.

Por su parte, según un informe publicado por Lux Research<sup>76</sup>, el sector privado invirtió aproximadamente 3.800 millones de dólares en I+D de nanotecnología durante 2004. Dicho gasto se reparte por regiones de la siguiente forma:

- Empresas norteamericanas: 1.700 millones de dólares.
- Empresas asiáticas: 1.400 millones de dólares.
- Empresas europeas: 650 millones de dólares.
- Empresas de otras regiones: 40 millones de dólares.

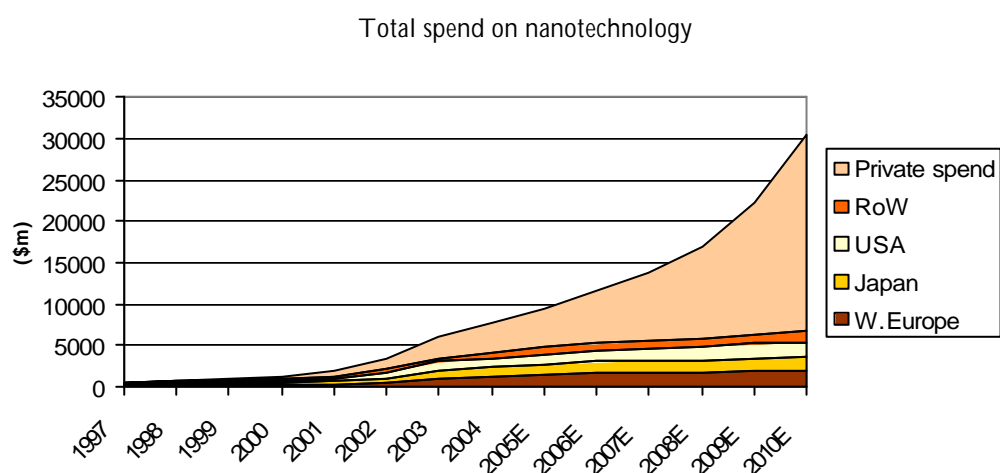


Ilustración 24: Gasto total en nanotecnología (1997-2010). Fuente: Científica

Se puede observar que, en financiación pública, Europa invierte más que el resto, pero en lo referente al sector privado son las compañías norteamericanas las que toman el liderazgo. Mención especial merece la gran diferencia existente entre la inversión del sector privado y público en Europa, circunstancia que no ocurre en sus principales competidores y que puede ser causa de un menor desarrollo nanotecnológico.

76. Según su informe "The Nanotech Report 2004"

### El sector privado se prepara para tomar las riendas de la nanotecnología

Como se puede apreciar, el sector privado se encuentra aún por detrás del público en lo referente a inversión, aunque se espera que durante este año 2006 la situación comience a invertirse. Las expectativas creadas en torno a la nanotecnología atraerán una inversión cada vez mayor de las empresas, mientras que la inversión de los gobiernos se mantendrá constante en el tiempo.

Private spend on nanotechnology

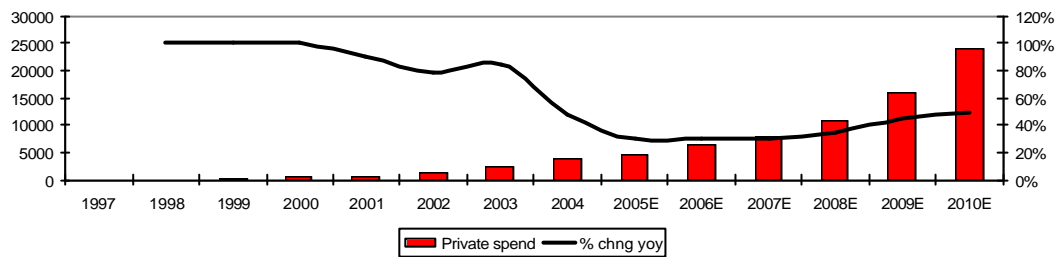


Ilustración 25: Evolución del gasto privado en nanotecnología (1997-2010). Fuente: Científica

La inversión privada desde 1997 ha crecido de manera espectacular, duplicándose incluso los primeros años. En la actualidad se están empezando a producir incrementos porcentuales de inversión mayores cada año, una tendencia alcista que se espera que continúe en el futuro con una presencia cada vez más clara de la inversión privada.

Por regiones, como se ha podido ver anteriormente, la inversión privada tiene como gran protagonista a Estados Unidos, país que, por tradición, muestra menor aversión al riesgo. Por lo general, las empresas estadounidenses se muestran más dispuestas a entrar a formar parte de una industria incipiente rodeada de incertidumbre. En Asia se está produciendo un aumento significativo en la creación de empresas especializadas en nanotecnología, sobre todo en China, lo que permite a este continente situarse como uno de los líderes en inversión privada. Europa, en cambio, está lejos de contar con un tejido empresarial consistente en el que la nanotecnología encuentre soporte.

En la ilustración 26 se muestra la inversión privada en diferentes países en el año 2005.

Mis notas

Private Nanotech Spend by Country 2005

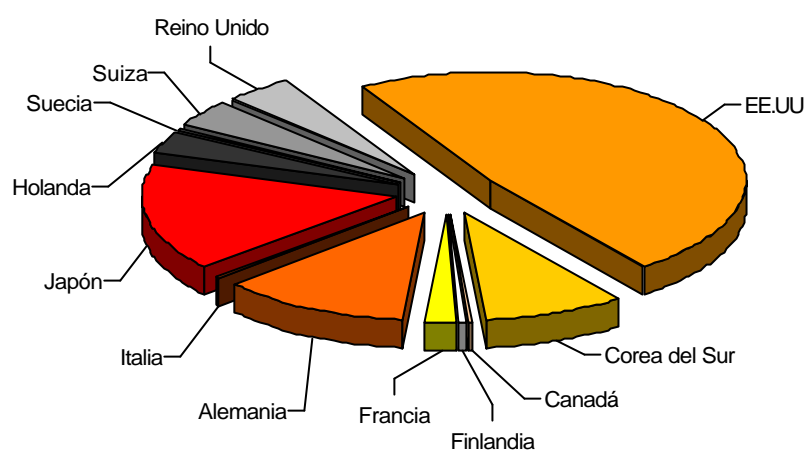


Ilustración 26: Inversión privada en nanotecnología por países en el 2005. Fuente: Científica.

En el éxito de las inversiones privadas, dos factores serán de crítica importancia: la selección del objetivo adecuado en el momento oportuno. La cuestión no es si la nanotecnología llegará al mercado, sino cuánto tiempo tardará en producirse el mayor impacto con productos reales y, por tanto, en provocar los consiguientes movimientos y beneficios. El tiempo en este aspecto depende del producto y de la multidisciplinariedad de la nanotecnología.

Seleccionar adecuadamente el objetivo en el que se va a realizar la inversión será imprescindible para minimizar los riesgos asociados a la etapa de inicio en la que se encuentra la nanotecnología. Esto debería implicar análisis minuciosos no sólo del mercado y de aspectos legales y financieros, sino también de factores técnicos y ambientales. En la mayoría de los casos será clave el conocimiento científico combinado con habilidades empresariales en la comercialización.

### *Inversiones de capital riesgo*

Las compañías de capital riesgo tendrán un papel clave en la transferencia de conocimiento desde los centros de investigación a la industria y los mercados. Las inversiones de capital riesgo para financiar los inicios de la nanotecnología hasta la fecha han brillado más por su ausencia que por su presencia. Sin embargo, la inversión experimenta un crecimiento constante. Según Lux Research<sup>77</sup>, los inversores institucionales de capital riesgo han destinado, en 2005, 480 millones de dólares a financiar el arranque de la nanotecnología (la inversión total realizada desde 1995 alcanza así los 2.000 millones de dólares).

77. Informe titulado Making Sense of Nanotech Venture Capital.

Venture Capital Investment In Nanotechnologies 2005 (Cumulative)

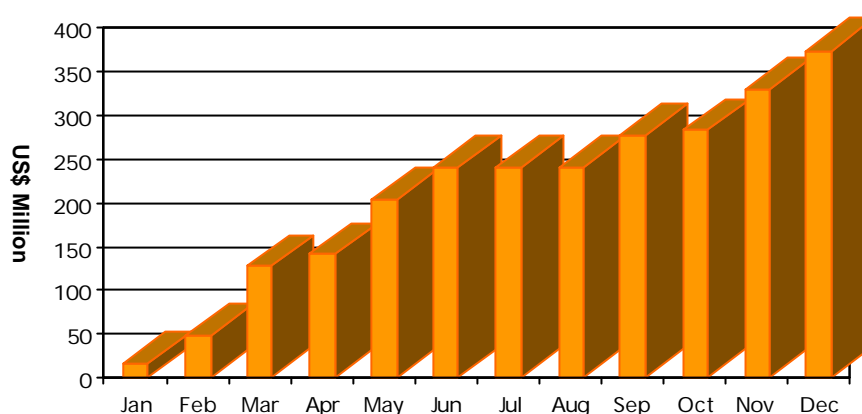


Ilustración 27: Inversión de capital de riesgo en nanotecnología en 2005. Fuente: Científica.

Durante el año 2004, un total de 1.500 empresas anunciaron su intención de implementar estrategias vinculadas a la nanotecnología. A pesar de estos datos, la inversión de capital riesgo sigue siendo una parte minúscula de la inversión total en nanotecnología, superada ampliamente por el gasto empresarial en I+D y la financiación del gobierno. Los inversores son todavía reacios a entrar masivamente en la nanotecnología por la incertidumbre que rodea a esta fase de inicio en la que se halla. La búsqueda del momento idóneo en la evolución de la nanotecnología será el principal punto de atención para nuevos inversores. En definitiva, ésta es aún una etapa muy temprana como para proclamar el éxito de la inversión de riesgo en nanotecnología: sólo el 9% de los proyectos iniciales de nanotecnología respaldados por capital riesgo ha tenido éxito hasta la fecha, el 83% continúa operando y el 8% ha fracasado o está en serio peligro<sup>78</sup>.

Sin embargo, los datos no son homogéneos en todos los países. Los inversores de capital riesgo de Estados Unidos invierten seis veces más que los europeos en este campo, a pesar de operar en un mercado de tamaño similar y con cantidades muy próximas de financiación pública.

78. Información obtenida de Lux Research en su publicación *Venture Capital pours into Nanotech, but exits are uncertain*, enero de 2006.

### 2005 Nanotech VC Activity By Region

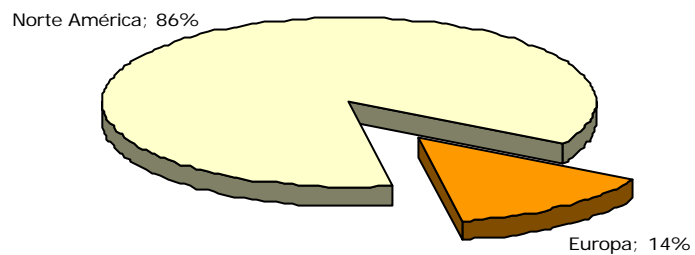


Ilustración 28: Actividad de capital de riesgo en nanotecnología por regiones en el 2005.  
Fuente: Científica.

Como vemos en la ilustración 28 los inversores europeos presentan mayor aversión al riesgo que sus colegas norteamericanos, ya que muestran mayor rechazo ante los riesgos asociados con nanotecnología (el mercado, la resistencia del consumidor y la falta de conocimiento del inversor).

Paralelamente, para el inversor es cada vez más evidente que los futuros beneficios no vendrán de compañías dedicadas a la producción de nanomateriales, como, por ejemplo, nanotubos de carbono, sino de compañías que los apliquen en la creación de nuevos productos en medicina, energía, alimentación y sector textil. En 2005 se apreció una tendencia según la cual las empresas de nanomateriales empujan sobre compañías demandantes, como las del sector sanitario.

### 2005 Global Venture Capital Investment in Nanotechnologies by Sector

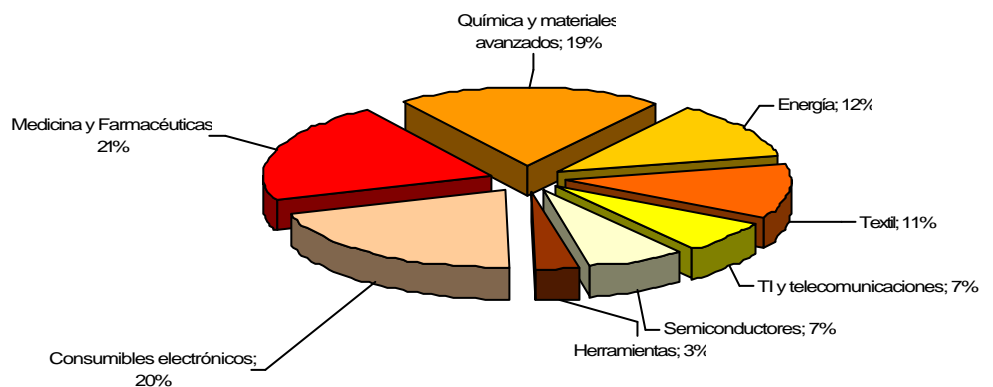
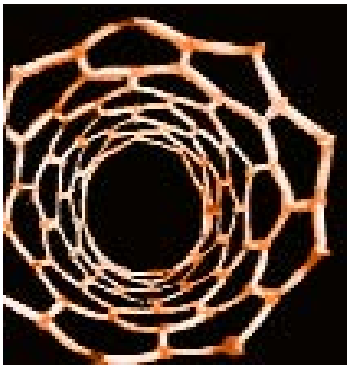


Ilustración 29: Inversión de capital de riesgo en nanotecnología por sector en 2005.  
Fuente: Científica.



La mayor cantidad de inversiones de capital riesgo se está dirigiendo, como muestra la ilustración 29, hacia el sector médico y farmacéutico, así como hacia los de electrónica, química y materiales.

### Escenario futuro para las inversiones privadas

Debido al carácter multidisciplinar de la nanotecnología, el sector privado se enfrenta a la duda de dónde debe realizar su inversión en este campo. A continuación se muestran los escenarios posibles que los expertos del FTF han determinado para los diferentes sectores a corto y medio plazo, según el impacto de la nanotecnología.

En los próximos cinco años parece que el sector que llevará el liderazgo es el de materiales, gracias a la aplicación que éstos van a tener en la mayoría de los otros sectores. Destacan también la electrónica y las telecomunicaciones, la energía, los productos farmacéuticos y lo relacionado con el resto de las materias primas.

Impacto en los próximos 5 años

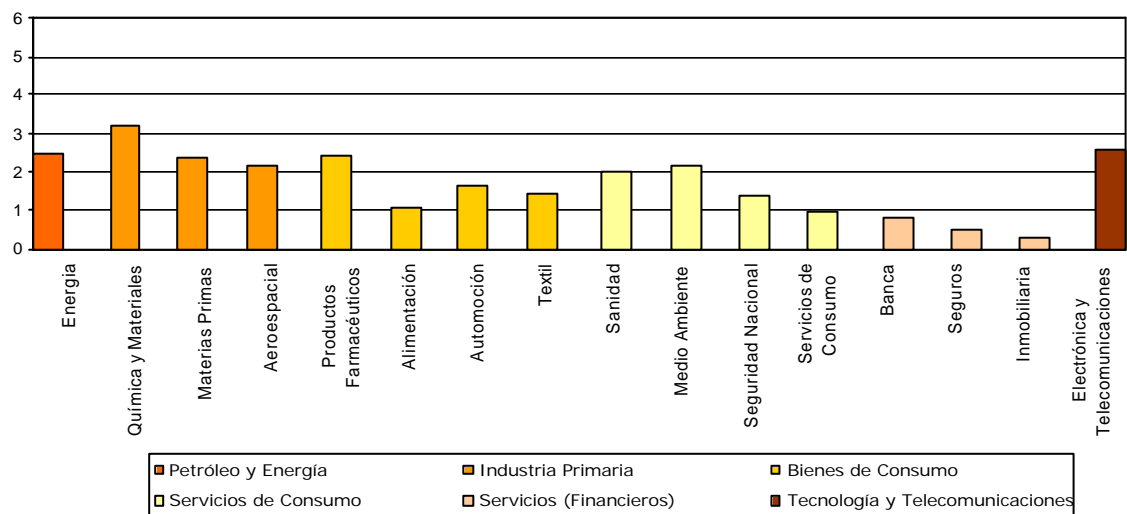


Ilustración 30: Impacto de la nanotecnología sobre los sectores para los próximos 5 años.

Fuente: Elaboración propia.

A medio plazo, los inversores deberán estar atentos a posibles variaciones en el impacto sobre sectores en los que se hayan conseguido nuevos avances en las investigaciones. Los expertos opinan que tanto la electrónica como el sector farmacéutico continuarán en la cresta de la ola en lo que a aplicaciones prácticas descubiertas se refiere, mientras que la industria de las materias primas se irá estabilizando. Sin embargo, donde se prevé un cambio más significativo es en los sectores de medio ambiente y de salud, en los que se prevé que la nanotecnología alcance una mayor importancia en un plazo de cinco a diez años. De esto se deduce que la industria de servicios de consumo y, principalmente, todo lo referente a la sanidad serán los aspectos donde la nanotecnología tendrá mayor impacto a medio plazo.

Impacto en los próximos 5 - 10 años

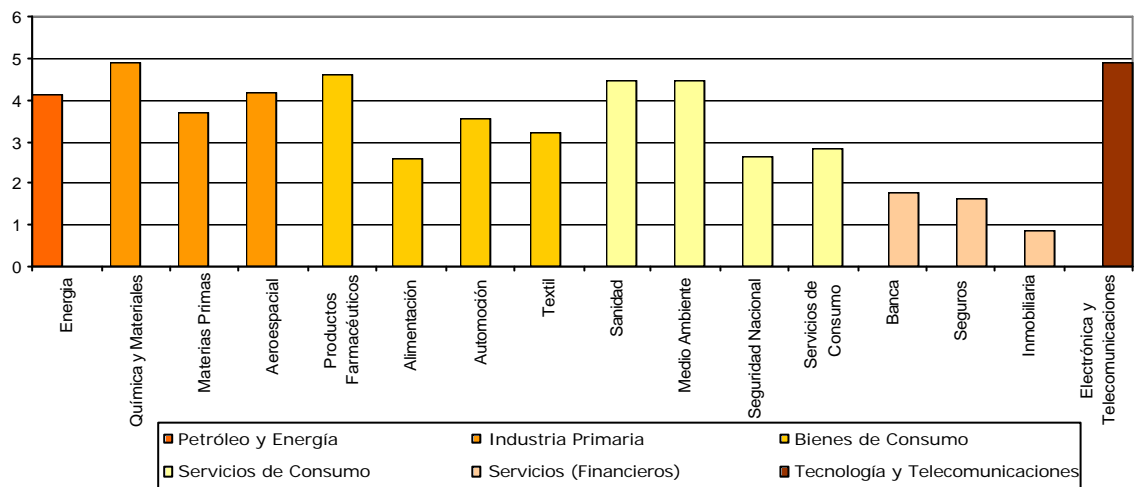


Ilustración 31: Impacto de la nanotecnología sobre los sectores para dentro de 5 a 10 años.

Fuente: Elaboración propia

Por último, es interesante conocer la opinión de los expertos del FTF sobre las posibilidades que los emprendedores van a tener en la nanotecnología. En este sentido, se puede concluir que el panorama previsto tendrá como protagonistas a las empresas de capital riesgo y a los emprendedores capaces de encontrar la inversión adecuada en el momento propicio. No sólo las grandes empresas con una gran capacidad de financiación serán las que tengan éxito en esta nueva industria, sino que pequeñas y medianas empresas con proyectos de negocio convincentes podrán atraer el capital necesario para alcanzar el éxito en un mercado que se prevé muy competitivo.

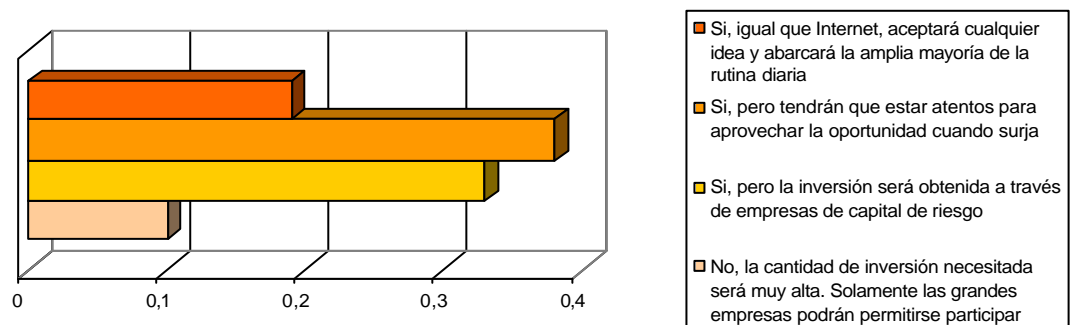


Ilustración 32: ¿Habrá hueco en la nanotecnología para emprendedores?

Fuente: Elaboración propia.



La creación y el desarrollo de start-ups van a ser prioritarios, lo cual va a depender principalmente de los siguientes factores<sup>79</sup>: mano de obra altamente cualificada, cooperación con universidades, financiación privada (capital riesgo), acceso a la financiación pública y protección del conocimiento a bajo coste.

### 5.5. La nanotecnología en nuestras vidas

Como se ha mostrado en los capítulos anteriores, la nanotecnología ha entrado ya en nuestras vidas sin que nos hayamos dado cuenta e irá teniendo cada vez más presencia. Tendrá un impacto enorme en casi todos los sectores económicos, no sólo en las grandes compañías e industrias, sino también en las actividades de la vida diaria. Desde nuevos tipos de televisión hasta lavavajillas más ecológicos, la innovación a escala nano puede revolucionar nuestros estilos de vida.

Los límites de las nuevas investigaciones son infinitos y cualquier nuevo descubrimiento puede ser fundamental. Al ser una ciencia multidisciplinar, puede tener efectos en casi cualquier campo. Nuevos insecticidas para mejorar las cosechas, sistemas para indicar cuándo la leche u otros alimentos están caducados, ordenadores muchísimo más veloces o nuevos diagnósticos y tratamientos más eficaces son algunos ejemplos de lo que depara el futuro.

Los expertos del FTF han valorado los diferentes campos del quehacer cotidiano que pueden verse afectados en el plazo de cinco a diez años. Los resultados, tal como recoge la ilustración 33, son significativos.

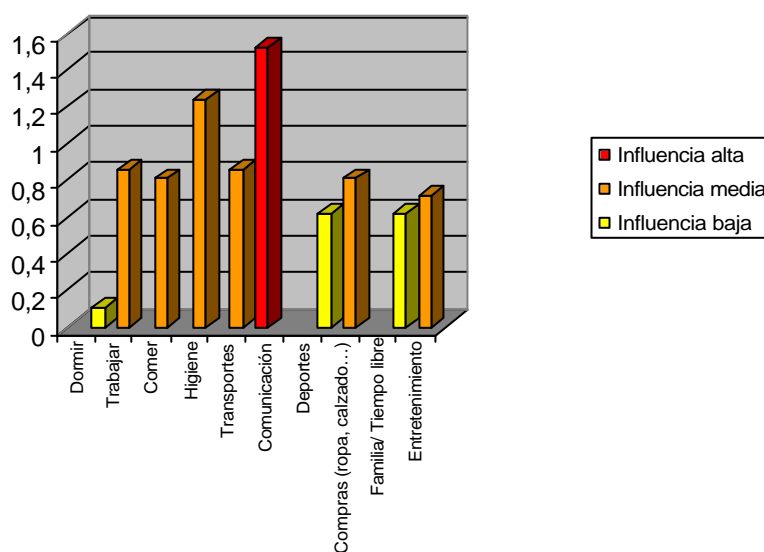


Ilustración 33: Impacto de la nanotecnología en las rutinas diarias.

Fuente: *Elaboración propia.*

79. Información obtenida de European Nanotechnology Gateway (2005).

Los sectores que sufrirán mayor influencia serán el de la comunicación, la higiene, el trabajo y los transportes, mientras que los que se verán menos afectados son los relacionados con el descanso, los deportes y el tiempo libre. La valoración general coincide, en gran medida, con los esfuerzos realizados por la industria.

### *Una visión futurista*

La información analizada en este documento puede hacer pensar que la nanotecnología está más cerca de la ciencia ficción que de nuestra cotidianidad. Nada más lejos de la realidad. La plasmación de nuestra vida o de la de nuestros hijos dentro de no muchos años puede ilustrar una previsión real.

Imagínese que comienza el día, totalmente descansado, gracias a unas pastillas con nanopartículas que permiten que con dos horas de reposo consiga el mismo efecto que si hubiera dormido ocho. La cama y la almohada también contribuyen a un buen descanso gracias a su mayor higiene y a su propiedad de atrapar el sudor y la humedad.

En la ducha, el gel y el champú actúan a nivel celular. De esta forma, no sólo limpian mejor, sino que también tienen multitud de nuevas propiedades que favorecen la salud atendiendo a cada tipo de piel. La nanotecnología está presente en cremas antiarrugas, antiacné, espuma de afeitar, etc., multiplicando su efectividad y la rapidez de sus resultados.

Llega la hora de desayunar y lo primero que hay que observar es el color del bote de leche, ya que contiene unas nanopartículas que lo modifican para avisarle de si está estropeada.

A la hora de salir de casa, los cambios en los medios de transporte, gracias a la nanotecnología, le proporcionan mayor tranquilidad. Los vehículos son mucho más seguros, ya que las carrocerías son más resistentes y flexibles.

#### Mis notas

La lluvia ya no es tan molesta a la hora de conducir, puesto que los coches incluyen nanosensores que avisan de la presencia de agua en la calzada y los cristales repelen las gotas, haciendo que mejore la visibilidad. Éstos limitan también la luz que entra en el vehículo, evitando los deslumbramientos producidos por los vehículos que circulan en sentido contrario.

Además, el cuidado del medio ambiente parece garantizado. Los coches, gracias a nuevas fuentes de energía, no necesitan gasolina. De hecho, se mueven impulsados por la energía que se produce a través de la pintura con nanocélulas solares. Sin embargo, esto no es todo. También su móvil lleva incorporados unos nanosensores que permiten la detección de determinadas sustancias químicas en el ambiente y que se pueden limpiar gracias a las capacidades antibacterianas de las nanopartículas que emite su teléfono. Al llegar al trabajo, se puede encontrar con una fuente de agua con nanomoléculas que aumentan el rendimiento a la hora de trabajar y, aunque sea lunes, los nuevos sistemas de ventilación con iones le subirán el ánimo.

Es casi imposible que se quede sin batería en el móvil, en el portátil o en su libro electrónico, ya que las células de combustible que utilizan son mucho más duraderas (y ecológicas).

Llega la hora de comer y sus posibles carencias de vitaminas, oligoelementos, etc. se pueden solventar gracias a la nanotecnología incorporada en ciertos tipos de comida, que seguro que puede encontrar en alguno de los restaurantes que hay en los alrededores de la oficina. Y, una gran revolución, hay bebidas interactivas a gusto del consumidor. Si es invierno, estará bien abrigado con los tejidos que combaten el frío gracias a las nanopartículas y, si llega la primavera, las nuevas prendas de vestir que atrapan el polen y aíslan bacterias pueden ayudarle a evitar las alergias. También, en el campo textil, se han mejorado los tejidos, que ahora pueden ser ignífugos, cambiar de color o combatir los olores al atrapar los microbios mediante el uso de las nanopartículas. Y, por supuesto, nada más práctico que evitar llevar la corbata a la tintorería al estar fabricada con un tejido resistente a las manchas.

En el sector de los deportes también han aparecido nuevos materiales que, gracias a la nanotecnología, han mejorado las prestaciones de algunos instrumentos: las raquetas de tenis, los palos y pelotas de golf, o las bicicletas y los cascos protectores son mucho más resistentes.

Por su parte, las tareas del hogar necesitan dedicarles menos tiempo gracias a las superficies autolimpiables, no sólo de muebles, sino también de duchas, lavavajillas, hornos, etc., que incluyen nanopartículas que terminan con las bacterias y el óxido. Las casas son también más ecológicas y utilizan menos energía. El uso de nuevos materiales de fabricación que guardan el calor o la combinación de nuevas fuentes de energía son algunas de las causas.

En definitiva, toda esta información, que se ha presentado de una manera cotidiana, se proporciona con el objetivo de ayudar en el proceso de reflexión sobre la nanotecnología. La evolución de las industrias y la adecuación estratégica de las empresas a estos nuevos avances son procesos que deben continuar y que darán su fruto cuando el mercado esté preparado para ello.

6

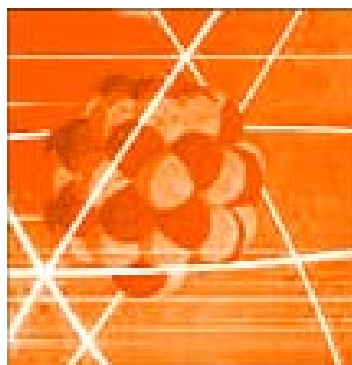
---

# Apéndice

---

## Miembros del FTF

---



### Ponentes

#### **Brent Segal.**

Cofundador y director financiero, Nantero Inc.

País: Estados Unidos.

#### **Uzi Landman.**

Profesor del Centro de Ciencias Computacionales de Georgia, en Atlanta.

País: Estados Unidos.

#### **Elliott Moorhead.**

Director de I+D, Nanovapor.

País: Estados Unidos.

#### **Henry Smith.**

Director del Laboratorio de Nanoestructuras, Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT).

País: Estados Unidos.

#### **Darío Gil.**

Gerente de laboratorio en el Centro de Investigación T.J. Watson, IBM.

País: Estados Unidos.

#### **C.J.M. Eijkel.**

Consejero delegado del Centro de Investigación Mesa+, Universidad de Twente.

País: Holanda.

#### **Michael Moradi.**

Director ejecutivo de Atomic Venture Partners, LP.

País: Estados Unidos.

#### **Lawrence Grumer.**

Consejero delegado de Elecsi Corporation.

País: Estados Unidos.

#### **Douglas Jamison.**

Presidente de Harris & Harris.

País: Estados Unidos.

#### **Timothy Harper.**

Presidente de Cientifica Ltd.

País: Reino Unido.

## Moderadores

### Chris Meyer.

Monitor Group.  
País: Estados Unidos.

### Ignacio Ríos.

Monitor Group.  
País: España.

## Asistentes

### Israel Bar-Joseph.

Jefe del Departamento de Materias Condensadas, Instituto Weizmann de Ciencia.  
País: Israel.

### Carlos Bholá

Socio-director de Celsius Capital.  
País: Estados Unidos.

### Ángel Cabrera.

Presidente de Thunderbird University.  
País: España/Estados Unidos.

### Antonio Carro.

Ex Consejero delegado de Jazztel.  
País: España.

### Annabel Dodd.

Autora de The Essential Guide to Telecommunications.  
País: Estados Unidos.

### Ramón Eritja.

Profesor del CSIC.  
País: España.

### John Hoffman.

Presidente y consejero delegado de Roamware, Inc.  
País: Estados Unidos.

**Laura Lechuga.**

Jefa del Grupo de Biosensores, CSIC.  
País: España.

**Javier Martí.**

Director del Centro de Nanofotónica, UPV.  
País: España.

**Carlos Mira.**

Ex consejero delegado de Lucent Technologies Mobility Europe.  
País: España.

**Seeram Ramakrishna.**

Director de la Iniciativa para la Nanociencia y la Nanotecnología, Universidad de Singapur.  
País: Singapur.

**Derek Reisfield.**

Consejero de I-Hatch Ventures, LLC.  
País: Estados Unidos.

**Ren Ee Che.**

Subdirector del Instituto del Genoma en Singapur.  
País: Singapur.

**Ivan K. Schuller.**

Director de AFOSR-MURI, nanosensores, Universidad de California.  
País: Estados Unidos.

Mis notas

**Jens Schulte-Bockum.**

Director de estrategia corporativa, Vodafone.  
País: Reino Unido.

**Juan Soto.**

Presidente honorario de Hewlett-Packard.  
País: España.

**Dennis Tachiki.**

Profesor de Dirección y Administración de Empresas de la Universidad de Tamagawa.  
País: Japón.



**Gaspar Taroncher-Oldenburg.**

Editor de investigación, Nature Biotechnology.

País: Estados Unidos.

**Lluis Torner.**

Director del Instituto ICFO.

País: Estados Unidos.

**Paul Van Doorn.**

Director ejecutivo de Docomo.

País: Reino Unido.

**Emilio Viñas.**

Socio, Corporate Development, Accenture.

País: España.

**John Ying.**

Socio fundador de Peak Capital.

País: Hong Kong (China).

**Fundación de la Innovación Bankinter**

**Ricardo Egea.**

Presidente.

País: España.

**Carlos López Blanco.**

Vicepresidente.

País: España.

**Mónica Martínez Montes.**

Director.

País: España.

**Paula Manrique Huarte.**

Operations Staff.

País: España.

## Bankinter

### **Fernando Alfaro Águila-Real.**

Director general adjunto del Área de Innovación.

País: España.

### **Marcelina Cancho Rosado.**

Ejecutivo del Área de Innovación.

País: España.

## Glosario

### A

**Almacenamiento de resolución atómica:** Aparatos que utilizan átomos individuales para representar bits de lógica (0 y 1) para almacenar datos.

**Angstrom:** Unidad de medida equivalente a la diezmilmillonésima parte del metro (0,0000000001 metros), cuyo símbolo es Å, utilizada principalmente para indicar las longitudes de onda de la luz visible. En un centímetro caben 10 millones de angstroms.

**Átomo:** El término viene del latín atomum y éste del griego, 'indivisible'. Es la unidad más pequeña de un elemento químico que mantiene su identidad o sus propiedades y que no es posible dividir mediante procesos químicos. El átomo se compone de un núcleo de carga positiva formado por protones y neutrones, ambos conocidos como "nucleones", alrededor del cual se encuentra una nube de electrones de carga negativa.

**Auto-ensamblaje:** Proceso en el cual se comienza con una estructura nanométrica –como una molécula– y, mediante un proceso de montaje o auto-ensamblado, se crea una estructura mayor. Este enfoque, que algunos consideran como el único y "verdadero" enfoque nanotecnológico, ha de permitir controlar la materia de manera extremadamente precisa.

### B

**Bionanotecnología:** Rama de la nanotecnología basada en el uso de estructuras biológicas tales como las proteínas ATP, ADN, etc. Frecuentemente llamada "tecnología húmeda-seca", donde el término húmeda alude a los componentes biológicos y el término parte seca corresponde a la ingeniería de nanopartículas inorgánicas. Está basada en las llamadas "células artificiales" y es uno de los campos más prometedores de la nanomedicina.

**'Buckyballs'/'fullerenes':** Nanoestructuras compuestas por 60 átomos de carbono (su nombre químico es C60) estructurados en un espacio cerrado y perfectamente simétrico. Tienen propiedades extraordinarias, especialmente como superconductores. Tienen una geometría similar a un icosaedro, con la estructura en forma de balón de fútbol. Las buckyballs superconductoras muestran la temperatura crítica más alta que se ha encontrado en compuestos orgánicos y se asocian en nanotecnología a los nanotubos. Fueron descubiertas por Robert F. Curl, Jr., Harold W. Kroto y Richard E. Smalley.



Ilustración 34: 'Buckyball'.

Fuente: [http://homepage.mac.com/jhgowen/research/nanotube\\_page/C60.jpg](http://homepage.mac.com/jhgowen/research/nanotube_page/C60.jpg)

### C

**Catalizador:** Sustancia (compuesto o elemento) capaz de acelerar una reacción química, permaneciendo ella misma inalterada (no se consume durante la reacción). A este proceso se le llama "catálisis". Muchos de los catalizadores actúan aumentando la superficie que permite encontrarse y unirse o separarse a dos o más reactivos químicos. Los catalizadores no alteran el balance energético final de la reacción química; sólo permiten que se alcance el equilibrio con mayor o menor velocidad.

**Célula de combustible ('fuel cell'):** Dispositivo electroquímico que transforma de forma continua la energía química de un combustible (hidrógeno) y oxidante (oxígeno) directamente en energía eléctrica y calor, sin combustión. El proceso eléctrico hace que los átomos de hidrógeno cedan sus electrones. Es parecido a una batería en el sentido de que tiene electrodos, un electrolito y terminales positivos y negativos. Sin embargo, no almacena energía en la forma en la que lo hace una pila. Como no existe combustión, las pilas de combustible emiten pocas emisiones y, como no tienen componentes móviles, son silenciosas. Producen energía eléctrica mediante la combinación de hidrógeno y oxígeno, que convierten en agua. Ahí reside su gran atractivo, puesto que las células de combustible producen una energía limpia que no daña el medio ambiente.

**Chip:** Es un dispositivo electrónico formado sobre la superficie de un pequeño cristal semiconductor de silicio, fabricado para que lleve a cabo una serie de funciones electrónicas en un circuito integrado.

**Circuito integrado:** Pastilla o chip en el que se encuentran todos o casi todos los componentes electrónicos necesarios para realizar alguna función. Estos componentes son en su mayoría transistores, pero también contienen resistencias, diodos, condensadores, etc.

## D

**Dendrímero:** La palabra dendrímero se deriva del griego dendron ('árbol') y el sufijo -mer ('segmento'). Los dendrímeros se construyen en la nanoescala a partir de capas de monómeros (una sola molécula que tiene la capacidad de combinarse con moléculas idénticas o similares) hasta crear la estructura de árbol. La primera capa de monómeros, el núcleo, se conoce como "generación 0". Los dendrímeros se estudian dentro del campo de la química de polímeros. Sus aplicaciones y funcionalidades abarcan los procesos de catalización y la biología.

W. Kroto y Richard E. Smalley.

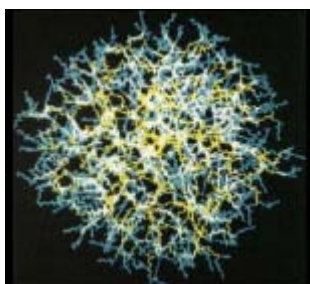


Ilustración 35. Dendrímero

Fuente: [www.ifmo.ru/mv/foto/foto/nauka/dendrimer.gif](http://www.ifmo.ru/mv/foto/foto/nauka/dendrimer.gif)

## E

**Electrodo:** Un electrodo es un conductor utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito; por ejemplo, un semiconductor, un electrolito, un gas (en una lámpara de neón), etc.

**Electrolitografía:** Litografía por haces de electrones. Sirve para construir nanoestructuras de entre 5 y 10 nanómetros.

**Electrón:** Es una partícula liviana con una carga negativa que se encuentra en todos los átomos. La energía de los electrones puede aumentar e incluso éstos pueden ser arrancados de los átomos utilizando ciertos rangos de luz o por una colisión. Los electrones son responsables de muchos fenómenos eléctricos que se producen en la materia sólida y en plasmas.

**Electrónica molecular:** Cualquier sistema de aparatos electrónicos con precisión atómica en dimensión nanométrica, especialmente si está fabricado con componentes moleculares en lugar de con materiales continuos encontrados en los aparatos semiconductores actuales.

## F

**FLOPS:** En informática, FLOPS es el acrónimo de Floating point Operations Per Second (operaciones de punto flotante por segundo). Se usa como una medida de rendimiento de un ordenador, especialmente en cálculos científicos que requieren un gran número de operaciones. Su uso es especialmente interesante en la informática, ya que permite trabajar con números decimales en rangos amplios, aunque también se usa el truncado de decimales. Los ordenadores exhiben un amplio rango de rendimientos en punto flotante, por lo que a menudo se usan unidades mayores que el FLOPS. Los prefijos estándar de los sistemas de información pueden ser usados para este propósito, dando como resultado megaFLOPS (MFLOPS,  $10^6$  FLOPS), gigaFLOPS (GFLOPS,  $10^9$  FLOPS), teraFLOPS (TFLOPS,  $10^{12}$  FLOPS) y petaFLOPS (PFLOPS,  $10^{15}$  FLOPS).

**Fotolitografía:** La fotolitografía (también conocida como "nanolitografía") es un proceso muy relacionado con la litografía convencional y la fotografía. La fotolitografía es un proceso utilizado para construir semiconductores. Su objetivo es transferir un patrón de una máscara a la superficie de un sustrato. Como sustrato, se suele utilizar una oblea de silicio cristalino, pero también existe la posibilidad de usar cristal, zafiro o metal. La forma y el tamaño del objeto creado se han controlado con exactitud gracias a la litografía. Las desventajas son la necesidad de usar un sustrato y la dificultad de crear figuras que no sean planas.

'Fullerenes': Véase buckyballs.

## H

**Haz focalizado de iones (FIB):** Un sistema de FIB funciona de manera similar a un microscopio de barrido (SEM). Utiliza un haz de iones de galio para realizar ataques iónicos localizados en materiales y depósitos localizados de diferentes materiales. Permite visualizar y realizar estructuras tridimensionales, controlando los procesos con una precisión de decenas de nanómetros.

**I**  
**Informática cuántica:** Área de estudio centrada en desarrollar tecnología informática basada en la teoría cuántica. El ordenador cuántico, según las leyes de la física cuántica (atómica y subatómica), alcanzaría una gran capacidad de procesamiento de datos porque es capaz de estar en múltiples estados simultáneamente y de llevar a cabo tareas utilizando todas las permutas posibles al mismo tiempo.

**L**  
**'Lab-on-a-chip':** La integración de aparatos de micro y nanofluidos ofrece la posibilidad de automatizar la química en un sistema minúsculo. A través de este nanoaparato se podrán llevar a cabo análisis y experimentos en el paciente sin la intermediación del técnico de laboratorio.

**M**  
**Máquinas de ensamblaje:** Producción de estructuras moleculares en la nanoescala. Un conjunto de moléculas actúa como una "máquina molecular" y es capaz de construir otras estructuras moleculares. En la realidad no se ha resuelto este problema nada más que en términos teóricos.

**Materiales inteligentes:** Nueva generación de materiales derivados de la nanotecnología, cuyas propiedades podrán ser controladas y cambiadas a petición. Es una de las principales líneas de investigación de la nanociencia, con aplicaciones a muchos sectores (desde el textil hasta el de defensa). Los materiales inteligentes tendrán la capacidad de cambiar su color, su forma y sus propiedades electrónicas en respuesta a cambios, alteraciones del medio o pruebas (luz, sonido, temperatura, voltaje, etc.).

**Materiales nanoporosos:** Materiales manipulados en la nanoescala; el tamaño de sus poros ha sido alterado casi a niveles de perfección atómicos. Se podrán manipular también sus características físicas y químicas. Podrán ser utilizados sobre todo en medicina y farmacia.

**Microscopio de efecto túnel (STM):** Máquina capaz de revelar la estructura atómica de las partículas. Dispone de una punta tan afilada que su extremo está compuesto por un solo átomo. Por ella fluye una débil corriente eléctrica. Esta punta se aproxima al material que se va a estudiar hasta situarse a menos de un nanómetro

(millonésima de metro) de distancia, manteniendo con la muestra una diferencia de potencial de un voltio. Mientras va recorriendo la superficie, la punta se mueve hacia arriba o hacia abajo, reproduciendo la topografía atómica de la muestra. Las técnicas aplicadas se conocen también como "de barrido de túnel" y están asociadas a la mecánica cuántica. Se basan en la capacidad de atrapar a los electrones que escapan en ese efecto túnel, para lograr una imagen de la estructura atómica de la materia con una alta resolución, en la que cada átomo se puede distinguir de otro. Una vez escaneada la superficie del objeto y haciendo un mapa de la distancia entre varios puntos, se genera una imagen en tres dimensiones. El microscopio de efecto túnel también ha sido utilizado para producir cambios en la composición molecular de las sustancias. Es un instrumento fundamental en el campo de la nanotecnología y la nanociencia. Fue inventado por Binnig y Rohrer en 1981, quienes fueron galardonados con el Premio Nobel en 1986 por este descubrimiento.



Ilustración 36. Microscopio de efecto túnel

Fuente:

[http://www.profes.net/rep\\_imagenes/Noticias/Microscopio\\_efecto\\_tunel.gif](http://www.profes.net/rep_imagenes/Noticias/Microscopio_efecto_tunel.gif)

**Microscopio de fuerza atómica (AFM):** El microscopio de fuerza atómica (AFM) es un instrumento mecano-óptico capaz de detectar fuerzas del orden de los nanonewton. Al analizar una muestra, es capaz de registrar continuamente la altura sobre la superficie de una sonda o punta cristalina de forma piramidal. La sonda va acoplada a un listón microscópico, muy sensible al efecto de las fuerzas, de tan sólo unos 200  $\mu\text{m}$  de longitud. La fuerza atómica se puede detectar cuando la punta está muy próxima a la superficie de la muestra. Entonces es posible registrar la pequeña flexión del listón mediante un haz de láser reflejado en su parte posterior. Un sistema auxiliar piezoeléctrico desplaza la muestra tridimensionalmente, mientras que la punta recorre ordenadamente la superficie. Todos los movimientos son controlados por una computadora. La resolución del instrumento es de menos de un nanómetro y la pantalla de visualización permite distinguir detalles en la superficie de la muestra con una amplificación de varios millones de veces.

**Microscopio electrónico de barrido (SEM):** En el microscopio electrónico de barrido, la muestra es recubierta con una capa de metal delgado y es barrida con electrones enviados desde un cañón. Un detector mide la cantidad de electrones enviados que arroja la intensidad de la zona de muestra y es capaz de mostrar figuras en tres dimensiones, proyectadas en una imagen de televisión. Su resolución está entre 3 y 20 nanómetros, dependiendo del microscopio. Inventado en 1981 por Ernst Ruska, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer, permite una aproximación profunda al mundo atómico.

**'Millipede':** El millipede es un sistema de almacenamiento de datos de alta densidad creado por IBM. Se basa en componentes micro-mecánicos (MEMS) manipulados con el microscopio de fuerza atómica (AFM). Con la punta del AFM se crean incisiones sobre un polímero. Estas incisiones representan bits de datos almacenados que la misma punta del microscopio puede leer de nuevo o borrar. El polímero se puede reutilizar miles de veces. La capacidad de almacenamiento del millipede alcanza 1 Tb/2,5  $\text{cm}^2$ , muy superior a la capacidad máxima del disco magnético.

**Molécula:** La menor cantidad de materia que retiene todas sus propiedades químicas. Está compuesta de átomos.

## N

**Nanite, nanobot o nanorrobot:** También llamado algunas veces "nanoagente" (nanoagent), hace referencia a una imaginaria máquina o "robot nano" de una escala de pocos centenares de nanómetros construido para tareas específicas. El prototipo de modelo para la mayoría de estos conceptos (más bien futuristas)

son células específicas (por ejemplo, fagocitos que ingieren materia externa) y maquinarias moleculares celulares (proceso de autorreproducción del ADN).

**Nano:** Medida extremadamente pequeña que permite trabajar y manipular las estructuras moleculares y sus átomos. El significado de la "nano" es una dimensión:  $10^{-9}$ ; esto es, 1 nanómetro = 0,000000001 metros.

**Nanoaguja:** Sonda para examinar una célula, capaz de perforar y explorar células vivas individuales. Se depositan unos anticuerpos en el extremo punzante. Una vez en el interior de la célula, estos anticuerpos se enlazan a las sustancias químicas específicas que los investigadores desean estudiar. La combinación de los anticuerpos con la luz láser en el extremo de la sonda produce reacciones con estas sustancias químicas internas, haciendo que brillen. Se espera que los avances en técnicas de sondeo a nanoescala revolucionen la detección y el tratamiento de enfermedades al permitir hacer frente a las enfermedades a escala molecular.

**Nanobáscula:** Una báscula en escala nano. Es lo suficientemente pequeña como para pesar los virus y otras partículas pertenecientes a escalas inferiores al micrón. Por ejemplo, una masa situada al final de un nanotubo cambia su frecuencia de resonancia. Si el nanotubo está calibrado, es posible medir la masa de la partícula que lo acompaña.

**Nanocables:** Son cilindros sólidos (a diferencia de los nanotubos, que están huecos) que tienen un diámetro de entre 10 y 100 nanómetros. Podemos definir los nanocables como estructuras moleculares con propiedades eléctricas u ópticas. Los nanocables son usados como semiconductores o diodos emisores de luz (LED), dependiendo de su composición química. Son uno de los componentes clave de la creación de chips electrónicos moleculares. Fáciles de producir, éstos pueden ser unidos a modo de rejilla y llegan a constituir la base para circuitos lógicos en la nanoescala.

**Nanocápsula:** Estructura en forma de cápsula o partícula esférica cuyo diámetro es inferior al micrómetro.

**Nanocatalizadores:** Grupos de partículas que pueden reemplazar los solventes orgánicos, disminuyendo los costes industriales y la contaminación. Como alternativa al actual método utilizado en las refinerías de combustibles fósiles, se está invirtiendo en la investigación de esta nueva tecnología. Los nanocatalizadores elevan la capacidad química de reacción, evitan especialmente la emisión del monóxido de carbono y son mucho menos contaminantes que las actuales fuentes de energía. Además, son reaprovechables.

**Nanocélulas solares:** El más diminuto dispositivo eléctrico que genera electricidad cuando se expone a la luz. No sólo se podrá integrar con otros materiales de la construcción, sino que además ofrece la promesa de costes de producción baratos que permitirán que la energía solar se convierta en una alternativa barata y factible.

**Nanociencia:** Ciencia que versa sobre el estudio del comportamiento y la manipulación de materiales a escala atómica o molecular para entender y explotar sus propiedades, que son significativamente distintas de las propiedades que tienen esos materiales a mayor escala.

**Nanocompuestos:** Un material más rígido, ligero y duro en temperaturas frías que los termoplásticos tradicionales. Los nanocompuestos se crean introduciendo un material sólido en una resina de plástico para darle más fuerza. Como hay menos material aditivo, se reciclan mejor que otros termoplásticos.

**Nanoconos:** Estructuras de grafito creadas a partir de carbono. Hay quien las considera los "topes" de un nanotubo, pero también pueden considerarse estructuras por derecho propio.

**Nanocristal:** Nanopartícula que contiene entre unos pocos cientos y decenas de millares de átomos dispuestos ordenadamente, siguiendo una estructura cristalina. Puesto que esta ordenación cristalina debe terminar en la superficie del nanocristal, los átomos de la superficie tienen menos "vecinos" que los que están en el núcleo. La forma de los nanocristales debe ser tal que minimice la energía libre o tensión de superficie.

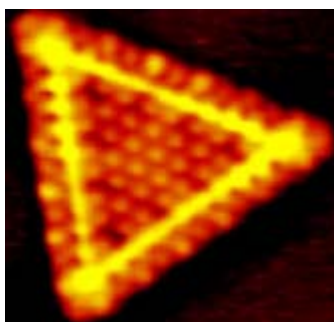


Ilustración 37. Nanocristal

Fuente: <http://www.nanotech-now.com/images/nanocrystal-large.jpg>

**Nanoelectrónica:** Electrónica aplicada a la escala nanométrica que nos acerca a los ordenadores moleculares y cuánticos. En esta

escala es necesaria una investigación profunda, dado que empieza la física cuántica y cambian las propiedades y los resultados de las operaciones realizadas.

**Nanofibras de carbono (CNF):** Consideramos que una nanofibra de carbono es el mismo tipo de estructura que una fibra de carbono convencional, pero con un tamaño nanométrico. Las nanofibras de carbono son una forma de grafito en la cual los átomos de carbono se agrupan en estructuras filiformes con un diámetro que varía de 50 a 400 nanómetros. La nanofibra de carbono se utiliza principalmente como carga en una matriz polimérica para formar un material nanoestructurado denominado carbon nanofiber nanocomposite.

**Nanofluidos:** Hace referencia al uso de nanoestructuras de silicio que pueden analizar moléculas individuales cuyas características son comparables, en términos de tamaño, al ADN y a las proteínas.

**Nanomateriales:** Materiales a nanoescala con características estructurales de una dimensión de entre 1 y 100 nanómetros. La manipulación a escala atómica de sus características proporciona propiedades nuevas que no se pueden observar en esos mismos materiales a una escala mayor.

**Nanomedicina:** Una de las vertientes más prometedoras dentro de los nuevos avances potenciales en aplicaciones tecnológicas para la medicina. Podríamos aventurar una definición situándola como rama de la nanotecnología que permitiría la posibilidad de curar enfermedades desde dentro del cuerpo y a escala celular o molecular.

**Nanoóptica:** Interacción entre la luz y la materia al nivel de la nanoescala. La razón para ligar la óptica a la nanociencia y la nanotecnología se basa en que el avance de la óptica a escala del nanómetro representa una multitud de campos de interés. Hay que recordar el hecho de que la energía de la luz descansa en la gama de transiciones electrónicas y vibratorias de la materia. Por tanto, la interacción de la luz con la materia rinde una información única sobre las características estructurales y dinámicas de la materia. Estas capacidades espectroscópicas únicas son de gran importancia para el estudio de nanoestructuras biológicas de estado sólido. En el lado tecnológico encontramos temas como la nanolitografía y el almacenaje de datos ópticos de alta densidad. En el lado de las ciencias básicas encontramos temas como las interacciones del átomo-fotón y sus usos potenciales para los experimentos de la interceptación y de la manipulación del átomo.



**Nanopartícula:** Partícula con al menos una dimensión inferior a 100 nanómetros. Las excepcionales propiedades de las nanopartículas se deben, en parte, al material que se encuentra en la superficie; no se corresponden con las propiedades del mismo material en volúmenes superiores, su diminuto tamaño les permite reflejar luz en lugar de absorberla. Las nanopartículas están avanzando con descubrimientos casi diarios en muchos frentes. Es el caso de los biosensores, las nanopartículas con base hierro contra tejidos cancerosos, etc. En general, la biomedicina y la biotecnología son dos campos muy prometedores de potenciales aplicaciones.

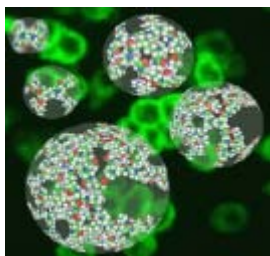


Ilustración 38. Nanopartícula

Fuente: <http://www.cienciaviva.pt/rede/space/home/nano.jpg>

**Nanosensor:** Sonda o sensor de precisión con dimensiones nanométricas. Actualmente está experimentando un rápido desarrollo por el avance de la nanotecnología. Asimismo, por sus múltiples aplicaciones, se puede decir que los nanosensores desencadenarán cambios revolucionarios en casi todos los ámbitos científicos y tecnológicos.

**Nanotecnología:** Es una ciencia multidisciplinar que se refiere a las actividades científicas y tecnológicas llevadas a cabo a escala atómica y molecular, y a los principios científicos y a las nuevas propiedades que pueden ser comprendidos y controlados cuando se interviene a dicha escala.

**Nanotubo:** Son estructuras cilíndricas de láminas de grafito con una dureza cien veces mayor que la del acero y, al mismo tiempo, seis veces más ligeras. Además, tienen otras propiedades: son unos conductores del calor tan eficientes como el diamante, pueden ser conductores de la electricidad tan eficaces como el cobre o pueden tener propiedades de semiconductores. Algunos nanotubos están cerrados por media esfera de fullerenes, mientras que otros están abiertos. Existen nanotubos monocapa (un solo tubo; siglas en inglés: SWNT) y multicapa (varios cilindros concéntricos; siglas en inglés: MWNT). Tienen un diámetro de unos nanómetros, pero su

longitud puede ser de hasta un milímetro, por lo que disponen de una relación longitud-anchura tremendamente alta hasta ahora sin precedentes.

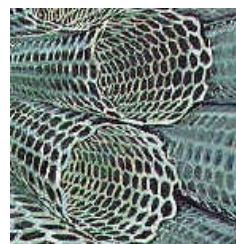


Ilustración 39. Nanotubo

Fuente: <http://www.hispamp3.com/images/disenano/nanotubo.jpg>

**Nanocable:** Son cilindros sólidos (a diferencia de los nanotubos, que están huecos) que tienen un diámetro de entre 10 y 100 nanómetros. Debido a sus propiedades eléctricas, ópticas y magnéticas se están utilizando principalmente en la construcción de instrumentos nanoescalares electrónicos y ópticos.

## O

**Optoelectrónica:** Es la disciplina que convierte la energía eléctrica en energía óptica (luz) o viceversa. Ejemplos: fotocélulas, células solares, diodos LED (emisores de luz), etc.

**Ordenadores ubicuos:** La miniaturización a escala nanométrica apunta hacia la inserción de potentes computadoras en relojes de pulsera y teléfonos móviles que posean algo que hoy no tienen: un disco rígido. Se supone que la tecnología proveerá de discos rígidos de una capacidad del orden de los gigabytes y de un tamaño de un centímetro cuadrado.

## P

**Polímeros:** Sustancias (macromoléculas) de alto peso molecular formadas por la repetición de unidades químicas simples llamadas "monómeros". Las moléculas de los polímeros pueden unirse en forma lineal o ramificarse formando retículos tridimensionales.

**Producción molecular:** Producción que emplea maquinaria molecular. Controla el producto y sus derivados molécula a molécula mediante la síntesis química. La producción molecular promete ser más eficaz que la producción tradicional. Los productos serán de mayor calidad, ya que estarán ensamblados partiendo de las piezas más pequeñas: átomos y moléculas.



**Punto cuántico:** Un punto cuántico es una partícula tan pequeña de materia que la adición de un único electrón produce cambios en sus propiedades. El atributo cuántico sirve para recordar que el comportamiento del electrón en tales estructuras debe ser descrito en términos de teoría cuántica. El punto cuántico es llamado en ocasiones transistor de un solo electrón, bit cuántico o qubit.

## S

**Semiconductores:** Sustancias aislantes, como el germanio y el silicio, que se transforman en conductores por la adición de determinadas impurezas. Se usan en la fabricación de transistores, chips y derivados. Son elementos que se comportan como conductores o como aislantes dependiendo del campo eléctrico en el que se encuentren. El elemento semiconductor más usado es el silicio.

**Sistemas nanoelectromecánicos (NEMS):** Sistemas electromecánicos contruidos con componentes de la escala nano. Hoy por hoy, la mayoría de los NEMS que existen son naturales, como los ribosomas o las mitocondrias.

## T

**Textrónica:** Término formado a partir de textil y electrónica. Se refiere a nuevos tejidos a partir de la reingeniería nanoelectrónica con propiedades asombrosas: "tejidos inteligentes" que tendrían la habilidad de cambiar de color, de reaccionar al frío o al calor, etc. Se calcula que el 20% de los materiales textiles europeos incorporará la nanotecnología en 2010.

**Transistor:** Son pequeños dispositivos eléctricos que pueden ser encontrados en muchos equipos, desde una radio hasta un robot. Tienen dos propiedades fundamentales:

1. Pueden ampliar una señal eléctrica.
2. Pueden encenderse y apagarse, dejando pasar o interrumpiendo la corriente eléctrica según sea necesario.

### Páginas 'web' consultadas para la elaboración del glosario

<http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/diccionario/diccionario.htm>.

<http://www.nanotech-now.com/nanotechnology-glossary-N.htm>.

<http://www.cheaptubesinc.com/Nanotech%20Glossary.htm>.

[http://www.cada.it/glossary/nanotech\\_glossary.html](http://www.cada.it/glossary/nanotech_glossary.html).

<http://es.encarta.msn.com/>.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>.

<http://www.nano.gov/>.

<http://www.madrimasd.org/>.

<http://www.royalsoc.ac.uk/landing.asp?id=1210>.

<http://www.cordis.lu/nanotechnology/home.html>.

[http://www.nanooze.org/cnf11\\_glossarysp.html](http://www.nanooze.org/cnf11_glossarysp.html).

<http://www.lbl.gov/MicroWorlds/ALSTool/EMSpec/Angstrom.html>.

<http://www.webopedia.com/>.

[http://whatis.techtarget.com/definition/0,,sid9\\_gci213512,00.html](http://whatis.techtarget.com/definition/0,,sid9_gci213512,00.html).

<http://www.forbesnanotech.com>.

<http://www.genpromag.com/glossary.aspx>.

<http://www.terminalf.net/cfm/fich-.cfm?IDChercher=117&numtable=86>.

## Premios a la nanotecnología



Los investigadores de nanotecnología también han visto reconocido su trabajo por la comunidad internacional. Este reconocimiento empezó con el premio Nobel, en 1965, a Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger y Richard P. Feynman por el trabajo realizado en electrodinámica cuántica, de gran repercusión para estudios posteriores. Hace casi cuarenta años sugirieron la posibilidad de ensamblar átomos.

Uno de los tres premiados, el estadounidense Richard P. Feynman, fundó unos nuevos premios, con el ánimo de ayudar al avance la nanociencia, los Premios Feynman. Ofreció 1.000 dólares de su propio bolsillo a la persona que construyera un motor de forma cúbica de 0,4 mm (premio reclamado en 1960) y otro premio al primero que reprodujera un texto a una escala de 1/25.000, la necesaria para reproducir la Enciclopedia Británica, en la cabeza de un alfiler (1985, con una página de Historia de dos ciudades, de Charles Dickens).

En estos momentos, los Premios Feynman son concedidos por el Instituto Foresight. Cada año se entregan premios de 5.000 ó 10.000 dólares, más el anhelado reconocimiento científico, a los investigadores cuyos estudios hayan contribuido de forma significativa al objetivo nanotecnológico de Feynman: construir productos de precisión atómica a través de sistemas de máquinas moleculares.

Además, en 1996 se creó el "Gran Premio Feynman" para motivar a científicos e ingenieros para que diseñaran y construyeran un brazo de robot nanométrico con funciones concretas especificadas en las bases del concurso. El premio todavía no ha sido otorgado a nadie, a pesar del incentivo de 250.000 dólares.

A continuación se presenta una relación de los premios más significativos de la historia de la nanotecnología:

Mis notas

**Nobel**

**1965**

Física

Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger y Richard P. Feynman.  
Por su trabajo fundamental en electrodinámica cuántica, con sus profundas consecuencias para la física de las partículas elementales.

**Nobel**

**1986**

Física

Ernst Ruska, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer.  
Por su trabajo fundamental en óptica de electrones y por el diseño del primer microscopio de electrones.

**Nobel**

**1996**

Química

Robert F. Curl, Jr., Sir Harold W. Kroto y Richard E. Smalley.  
Por el descubrimiento conjunto de los fullerenes, una nueva forma que toma el elemento del carbono, en la cual los átomos están dispuestos de forma cerrada.

**Nobel**

**2001**

Física

Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle y Carl E. Wieman.  
Por sus investigaciones en relación con el condensado Bose-Einstein, un fenómeno de la materia que se produce en situaciones extremas.

**Feynman**

**1993**

Dr. Charles Musgrave.

Por crear una herramienta de hidrógeno para la nanotecnología.

**Feynman**

**1995**

Dr. Nadrian C. Seeman.

Por su trabajo experimental pionero sobre la síntesis de objetos tridimensionales a partir del ADN.

**Feynman**

**1997**

Experimental

Equipo de la división de investigación del laboratorio de Zurich, IBM y el laboratorio de investigación público francés CEMES-CNRS.  
Por utilizar los microscopios de proximidad para manipular moléculas.

**Feynman**

**1997**

Teoría

Equipo del Centro de Investigación de Ames de la NASA.  
Por su labor en el campo de la nanotecnología computacional.

**Feynman**

**1998**

Teoría

Ralph Merkle y Stephen Walch.  
Por su modelación informática de herramientas moleculares para reacciones químicas de precisión atómica.

**Feynman**

**1998**

Experimental

M. Reza Ghadiri.

Por contribuir de forma brillante en la construcción de estructuras moleculares a través del bottom-up, las mismas fuerzas que se utilizan para ensamblar los sistemas de máquinas moleculares naturales.

**Feynman**

**1999**

Teoría

Equipo Caltech, dirigido por William Goddard.  
Por su colaboración en el diseño de máquinas moleculares. Los diseños propuestos para las máquinas moleculares del futuro se pueden probar hoy en superordenadores mediante sofisticados programas que imitan con precisión las leyes de la química.

**Feynman****1999**

Experimental

Dr. Phaedon Avouris.

Líder en el desarrollo de nanotubos de carbono para futuras aplicaciones informáticas. Este trabajo se considera la antesala de la informática a escala molecular. Sin alcanzar este paso, la industria de la informática se saldrá de la curva de la Ley de Moore, la cual predice que la precisión atómica será realidad antes de 2015.

**Feynman****2000**

Teoría

Dr. Uzi Landman.

Por su trabajo pionero en ciencia de materiales para nanoestructuras. Ha proporcionado a las ciencias computacionales la base científica sobre las propiedades y la naturaleza de la materia en la nanoescala. Gracias a la modelación informática se puede predecir qué podría construirse a escala molecular, reduciendo así el tiempo que absorben los carísimos experimentos de laboratorio húmedo.

**Feynman****2000**

Experimental

R. Stanley Williams, Philip Kuekes y James Heath.

Por construir un interruptor molecular, un gran paso hacia la consecución de los chips de memoria de unos pocos cientos de nanómetros, más pequeños que una bacteria.

**Feynman****2001**

Teoría

Mark A. Ratner.

Por su contribución al desarrollo y éxito de los aparatos electrónicos en la nanoescala. Su trabajo ha sido clave para entender los mecanismos y magnitudes de conducción de los enlaces moleculares y, en particular, la naturaleza de la carga de las nanoestructuras de una sola molécula.

**Feynman****2001**

Experimental

Charles M. Lieber.

Por su trabajo experimental, pionero en nanotecnología molecular. Creó nuevas herramientas para la nanotecnología molecular.

**Feynman****2002**

Teoría

Don Brenner.

Por colaborar de forma significativa en el avance en el campo de modelación informática de aparatos moleculares y por diseñar y analizar componentes que en un futuro puedan ser claves en sistemas moleculares manufacturados.

**Feynman****2002**

Experimental

Chad Mirkin.

Por acercarnos más al objetivo de la manufacturación molecular. A través de la selección de las funciones y superficies de las nanopartículas, especialmente del ADN, consiguió el auto-ensamblaje de estructuras totalmente nuevas.

**Feynman****2003**

Teoría

Dr. Marvin L. Cohen y Dr. Steven G. Louie.

Por contribuir al entendimiento del comportamiento de los materiales, especialmente en lo referente a propiedades como la estructura, los requisitos de la superficie y las interacciones con otros materiales.

**Feynman****2003**

Experimental

Dr. Carlo Montemagno.

Por su investigación pionera sobre los métodos de integración de motores biológicos de una molécula con aparatos de silicio nanométricos.

**Feynman****2004**

Teoría

Dr. David Baker y Dr. Brian Kuhlman.

Por haber desarrollado RosettaDesign, un programa con una alta tasa de éxito a la hora de diseñar estructuras proteínicas estables, un hito en el camino hacia los aparatos moleculares. El profesor Baker ha puesto RosettaDesign a disposición de la comunidad científica de manera altruista.

**Feynman**

**2004**

Experimental

Dr. Homme Hellinga.

Por crear aparatos de precisión atómica capaces de manipular otras estructuras moleculares. Dentro de su aportación a la ingeniería de proteínas orientada a la informática, construyó una enzima.

**Feynman**

**2005**

Teoría

Dr. Christian Joachim.

Por haber desarrollado herramientas teóricas y haber establecido los principios de diseño de una amplia variedad de nanomáquinas de una sola molécula.

**Feynman**

**2005**

Experimental

Dr. Christian Schafmeister.

Por desarrollar una nueva tecnología que sintetiza macromoléculas de tamaño medio (entre 1.000 y 10.000 daltons) con formas y funciones diseñadas.

# Bibliografía

## Artículos

"An act to authorize appropriations for nanoscience, nanoengineering, and nanotechnology research, and for other purposes", <http://www.smalltimes.com/smallstage/images/nanobills189.pdf> (consulta de 23 de marzo de 2006).

Chaparro, Eva: "Nanotecnología, secretos ocultos e inmortalidad", *Red Científica. Ciencia, Tecnología y Pensamiento*, disponible en <http://www.redcientifica.com/doc/doc200112220001.html> (consulta de 21 de marzo de 2006).

Cózar Escalante, José Manuel de: "Nanotecnologías: promesas dudosas y control social", *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, mayo-agosto de 2003, número 6 (ref. de 16 de marzo de 2006), disponible en <http://www.campus-oei.org/revistactsi/numero6/articulo04.htm#3a> (consulta de 21 de marzo de 2006).

Erasmus Mundus Master Nanoscience and Nanotechnology: <http://www.emm-nano.org/indexnano.htm> (consulta de 23 de marzo de 2006).

International Centre for Science and High Technology: "North-South Dialogue on Nanotechnology: Challenges and Opportunities", *United Nations Industrial Development Organization*, <http://www.ics.trieste.it> (consulta de 23 de marzo de 2006).

Lagándara, María Luisa: "El estudio de las causas de muerte a lo largo de la historia ha sido fundamental a la hora de establecer políticas sanitarias para prevención y erradicación", <http://www.emsf.es/rev9/ad9p12.htm> (consulta de 21 de marzo de 2006).

MENL: "ISRAEL, EU DISCUSS NANOTECH APPLICATIONS", *Middle East News Line*, [http://www.menewslines.com/stories/2005/november/11\\_11\\_4.html](http://www.menewslines.com/stories/2005/november/11_11_4.html) (consulta de 23 de marzo de 2006).

Parlamento Europeo: "La Carta de los derechos fundamentales de la Unión Europea", [http://www.europarl.eu.int/charter/default\\_es.htm](http://www.europarl.eu.int/charter/default_es.htm) (consulta de 23 de marzo de 2006).

TORRANCE: "Home Hydrogen Refueling Technology Advances with the Introduction of Honda's Experimental Home Energy Station", <http://www.world.honda.com/news/2005/c051114.html> (consulta de 23 de marzo de 2006).

Whiting, Rick: "Nanotechnology On Ice", *Information Week*, disponible en <http://www.informationweek.com/story/IWK20011012S0010> (consulta de 21 de marzo de 2006).

Mis notas

## Páginas 'web'

*AeroVironment: <http://www.aerovironment.com/>  
(consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Altairnano, Altair Nanotechnologies, Inc.: <http://www.altairnano.com/>  
(consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Berkeley Lab, University of California for the U.S. Department of Energy:  
<http://www.lbl.gov/>  
(consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Centro de Tecnologías Electroquímicas: <http://www.cidetec.es/>  
(consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Centro Nacional de Microelectrónica: <http://www.cnm.es/>  
(consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial:  
<http://www.cdti.es/webCDTI/esp/index.html>  
(consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Chemical Abstracts Service: <http://www.cas.org>  
(consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Científica. Business Information and Consulting: <http://www.cientifica.com/>  
(consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Comisión Europea, Investigación, centro de noticias: "La nano-revolución",  
<http://europa.eu.int/comm/research/news-centre/es/pur/02-11-pur01.html>  
(consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Comisión Europea, Investigación: "La investigación europea en acción",  
[http://www.europa.eu.int/comm/research/leaflets/nanotechnology/index\\_es.html](http://www.europa.eu.int/comm/research/leaflets/nanotechnology/index_es.html)  
(consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Comisión Europea: "The Sixth Framework Programme",  
[http://www.europa.eu.int/comm/research/fp6/index\\_en.cfm?p=0](http://www.europa.eu.int/comm/research/fp6/index_en.cfm?p=0)  
(consulta de 21 de marzo de 2006).*

*CORDIS, Community Research & Development Information Service: "European  
Nanoelectronics Initiative Advisory Council", [http://www.cordis.lu/ist/eniac/back-  
ground.htm](http://www.cordis.lu/ist/eniac/background.htm) (consulta de 21 de marzo de 2006).*



*CORDIS, Community Research & Development Information Service: "Nanotechnology Press Service", <http://www.cordis.lu/nanotechnology/src/pressroom.htm> (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*ETC group: <http://www.etcgroup.org> (consulta de 23 de marzo de 2006).*

*EuMaT Consortium: <http://www.eumat.org> (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*European NanoBusiness Association: <http://www.nanoeurope.org> (consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Euroresidentes. Primer portal sobre nanotecnología y nanociencia en español: <http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia.htm> (consulta de 15 de diciembre de 2005).*

*Foresight Institute: "Advancing Beneficial Nanotechnology", <http://www.foresight.org/> (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Fundación Phantoms: <http://www.phantomsnet.net/> (consulta de 7 de marzo de 2006).*

*GAIA: <http://www.gaia.es/> (consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Hydrogen Solar Ltd.: <http://www.hydrogensolar.com/> (consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Institute for Molecular Manufacturing: <http://www.imm.org/> (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Instituto Nacional de Estadística: <http://www.ine.es> (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*IP Nanoker: <http://www.nanoker-society.org/publicarea/p.asp> (consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Israel National Nanotechnology Initiative: <http://www.nanoisrael.org> (consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Laboratorios ORNL: <http://www.ornl.gov> (consulta de 23 de marzo de 2006).*



*Lux Research: "Lux Research Report. Charts Shifts in Competitiveness as Winners and Losers Emerge in Nanotechnology", <http://www.prnewswire.com/cgi-bin/stories.pl?ACCT=104&STORY=/www/story/11-03-2005/0004207937&EDATE=> (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Ministerio de Educación y Ciencia: "Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007", [http://wwwn.mec.es/ciencia/jsp/plantilla.jsp?area=plan\\_idi&id=2](http://wwwn.mec.es/ciencia/jsp/plantilla.jsp?area=plan_idi&id=2) (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*NanoChina: <http://www.nanochina.cn/english/> (consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Nanoforum: <http://www.nanoforum.org> (consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Nanomed Spain: <http://www.nanomedspain.net> (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Nanoscience Instruments: "Nanoscience education", <http://www.nanoscience.com/education/index.html> (consulta de 16 de diciembre de 2005).*

*Nanotechnology now. Your gate to everything nanotech: <http://www.nanotech-now.com/> (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Nanotechnology Researchers Network Center of Japan: <http://www.nanonet.go.jp/english/> (consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Nanovip.com: "¿Qué es la Nanotecnología?", <http://www.nanovip.com/what-is-nanotechnology/spanish.php> (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Nanozar. Carbon Nanotube Research: <http://www.nanozar.com/background.htm> (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST): [http://www.aist.go.jp/index\\_en.html](http://www.aist.go.jp/index_en.html) (consulta de 23 de marzo de 2006).*

*National Institutes of Health. U.S. Department of Health and Human Services: <http://www.nih.gov> (consulta de 21 de marzo de 2006).*

*National Nanotechnology Initiative: <http://www.nano.gov>  
(consulta de 21 de marzo de 2006).*

*PortalCiencia: "Nanotecnología: la próxima revolución",  
<http://www.portalciencia.net/nanotecno/nanorevolucion.html> (consulta de 21 de  
marzo de 2006).*

*Ralph C. Merkle's nanotechnology web site: <http://www.zyvex.com/nano/>  
(consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Red NanoSpain: <http://www.nanospain.org/nanospain.htm>  
(consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Salamanca-Buentello, Fabio; Deepa L. Persad, Erin B. Court, Douglas K. Martin,  
Abdallah S. Daar y Peter A. Singer: "Nanotechnology and the Developing World",  
[http://www.utoronto.ca/jcb/home/documents/PLoS\\_nanotech.pdf](http://www.utoronto.ca/jcb/home/documents/PLoS_nanotech.pdf)  
(consulta de 23 de marzo de 2006).*

*SoloCiencia, El Portal de la Ciencia y la Tecnología en Español: "Carga eléctrica en  
nanocatalizadores", <http://www.solociencia.com/quimica/05031401.htm> (consulta de  
21 de marzo de 2006).*

*Technology Review: <http://www.technologyreview.com/>  
(consulta de 23 de marzo de 2006).*

*The Centre for Nanomaterials Applications in Construction (NANOC):  
<http://www.nanoc.info/index.html>  
(consulta de 21 de marzo de 2006).*

*The Israel Directorate for the EU Sixth Framework Programme:  
<http://www.iserd.org.il/>  
(consulta de 23 de marzo de 2006).*

*Unión Europea: "El Quinto Programa Marco",  
<http://www.europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/i23001.htm>  
(consulta de 21 de marzo de 2006).*

*Universidad de Zaragoza. Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón: "Catálisis  
Enantioselectiva", <http://www.unizar.es/icma/divulgacion/catalizadores.html> (con-  
sulta de 21 de marzo de 2006).*

*Wikipedia: "Nanotecnología", <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Nanotecnolog%C3%Ada>  
(consulta de 21 de marzo de 2006).*

## Libros

Comunicación de la Comisión: *Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías, mayo de 2004, Bruselas.*

EOI Escuela de Negocios: *Convergencia NBIC 2005: El desafío de la Convergencia de las Nuevas Tecnologías, [s.l.], Colección EOI 2006, 126 págs.*

Informe Nano, nanotecnología en España, *realizado por la Dirección General de Universidades e Investigación de la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid en colaboración con el proyecto NanoMat.*

N. Taniguchi: *"On the Basic Concept of 'Nano-Technology'", Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering, 1974.*

Nanotechnology: *Small matter, many unknowns, pág. 40, publicado por Swiss Re., 2004.*

Publicación de la Dirección General de Investigación de la Comisión Europea dentro de su iniciativa *La investigación europea en acción.*

## Presentaciones

Crespo, V.H.: *"Presentación interactiva de nanotubos", Penn State University, physics; disponible en <http://www.phys.psu.edu/%7Ecrespi/docs/NanotubeIntroductionTheMovie.mov> (consulta de 15 de diciembre de 2005).*

Mis notas

WWW.FTFORUM.ORG



FTF FUTURE TRENDS FORUM

## Colaboradores

---

### Colaborador Principal

---

**accenture**  
*High performance. Delivered.*

### Diseño y Maquetación

---



**arroba**  
network