

3

---

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.

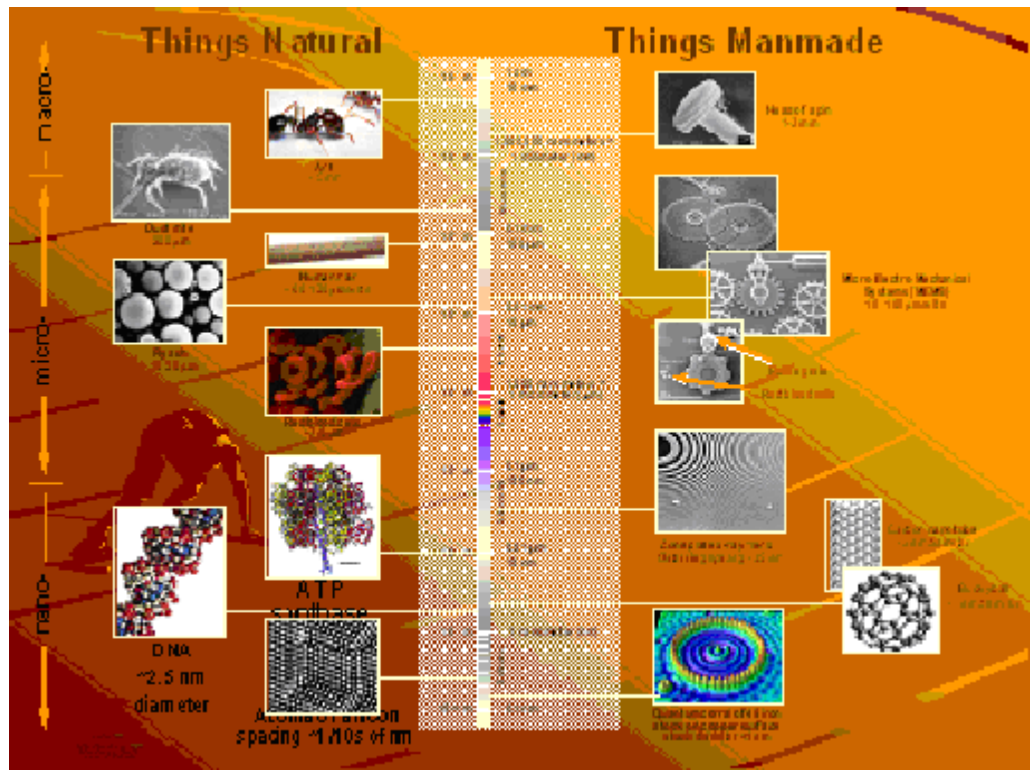


Ilustración 1: Estructuras naturales y artificiales

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.

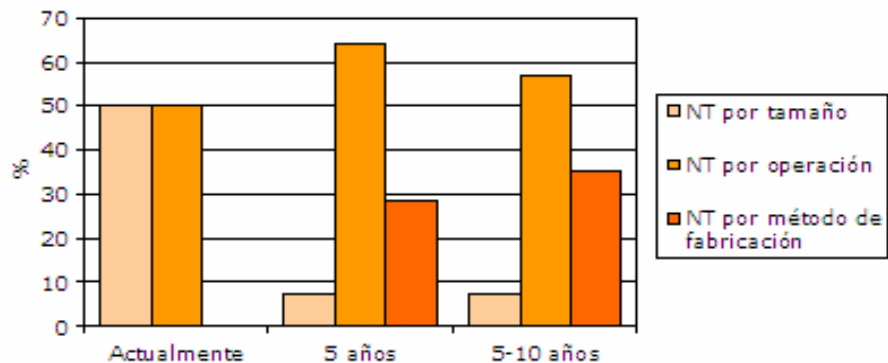


Ilustración 2: Evolución de las corrientes de investigación

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

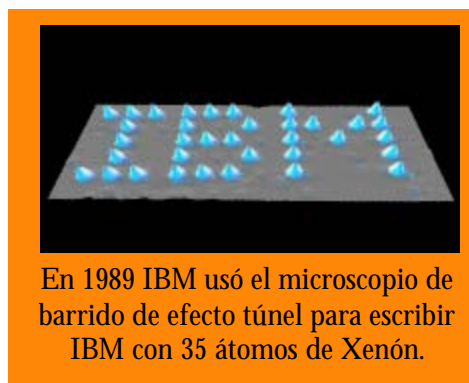
Feynman ofreció dos premios de 1.000 dólares: uno para la primera persona capaz de crear un motor con forma cúbica de 0,4 mm en cada dirección; el otro sería para quien fuera capaz de reducir la página de un libro unas 25.000 veces su tamaño (esto es, 100 nanómetros de largo).

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 extrema 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

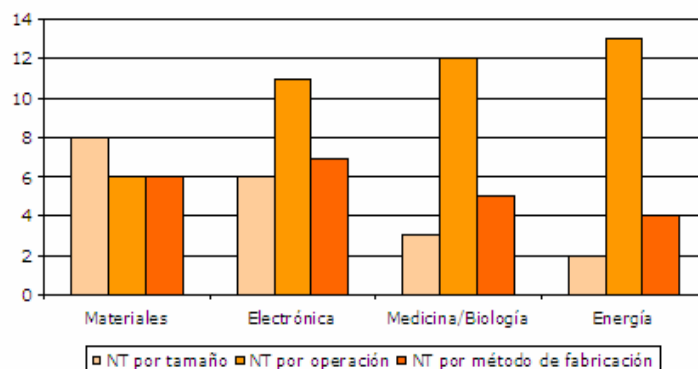


Ilustración 4: Tendencia de nanotecnología en cada área de aplicación

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.

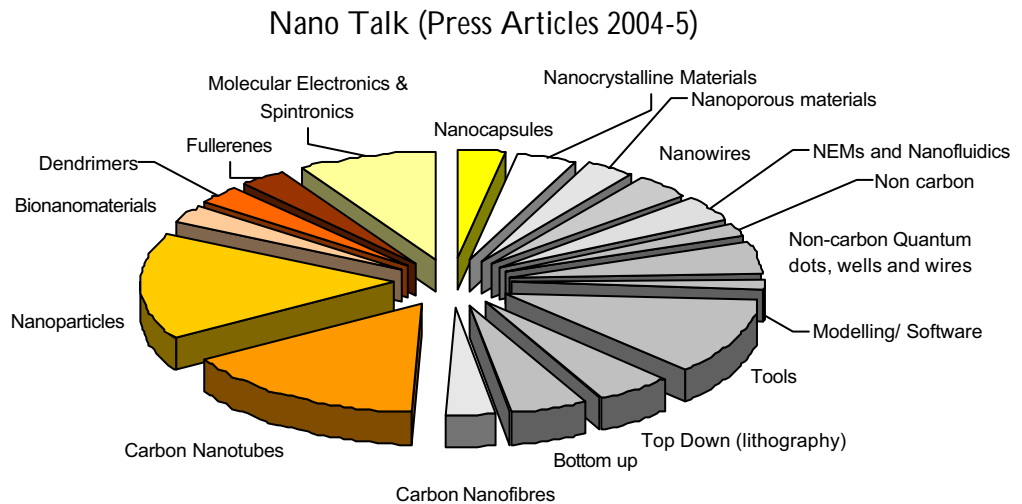


Ilustración 5: Términos publicados en prensa sobre nanotecnología  
Fuente: Científica.

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.

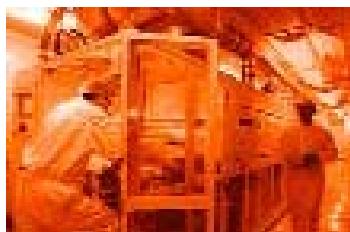
#### Mis notas

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

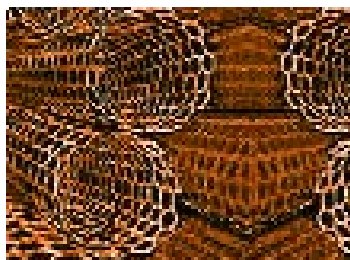
##### La miniaturización necesita otro enfoque

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 nanotéfonos 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 apodo dado 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 bisturíes, 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.bmti.utwente.nl/library/other/bmti\\_in\\_the\\_news\\_2005/engineered\\_tissue\\_is\\_more\\_viab.doc/](http://www.bmti.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

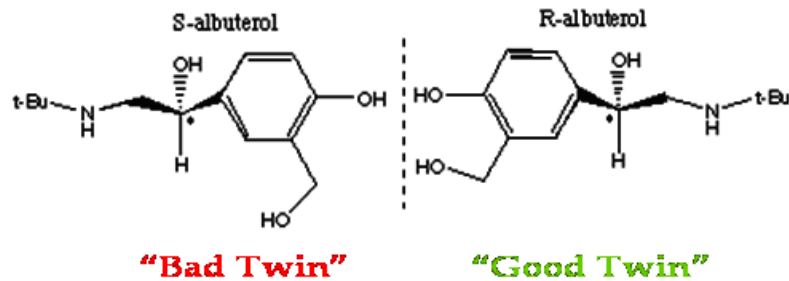


Ilustración 6: Moléculas quirales. Fuente: Presentación FTF de Brent Segal.

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.

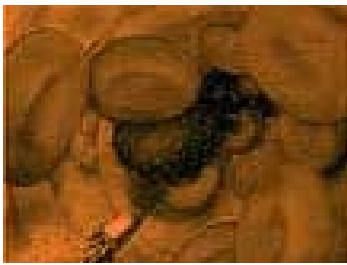
Por ejemplo, la utilización de una nanopíldora para la realización de un diagnóstico en sustitución de la endoscopia que se utiliza ahora no supone un cambio radical desde el punto de vista del médico, que seguirá obteniendo el mismo resultado, aunque con métodos distintos. Sin embargo, desde el punto 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 monitoree 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.

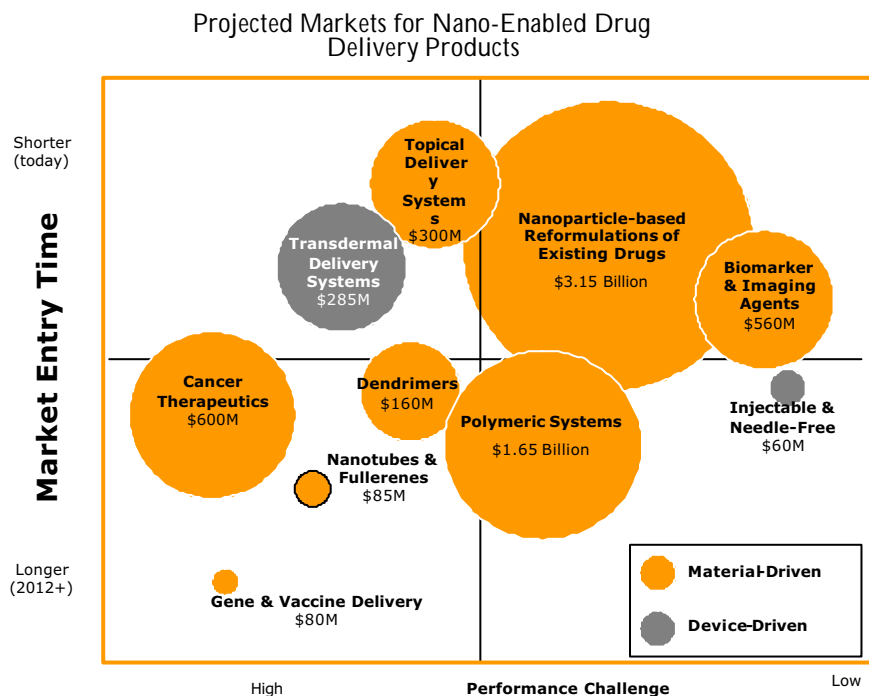


Ilustración 7: Comercialización de productos para la administración de fármacos. Fuente: Presentación realizada en el FTF por Michael Moradi.

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 permitirselo? 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 nanocristalinos 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.

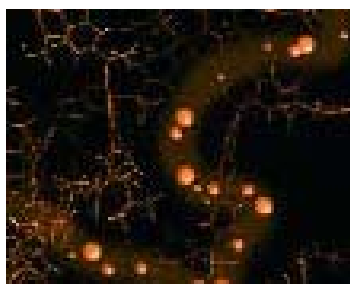
■ Lámparas "eternas": ya existen actualmente lámparas de emisión de diodos (LED) que no obtienen su potencia a expensas del calentamiento, sino por efectos mecánicos, por lo que no generan calor. En consecuencia, alargan la vida del mecanismo, por lo que conceptualmente se podrían catalogar como "eternas". 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

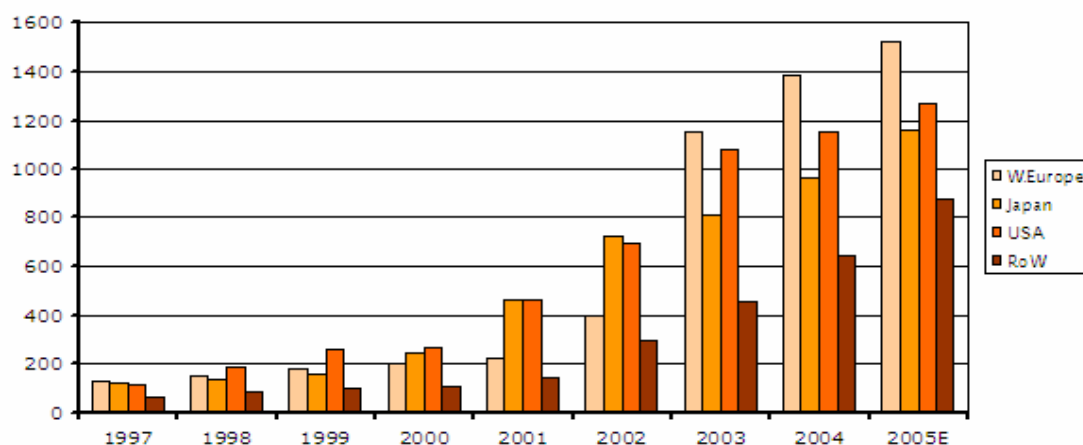


Ilustración 8: Gasto público anual en nanotecnología (1997-2005). Fuente: Científica.

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.

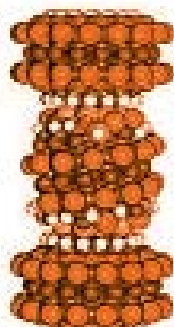
### 3.3.1. Apoyo gubernamental a escala global

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.

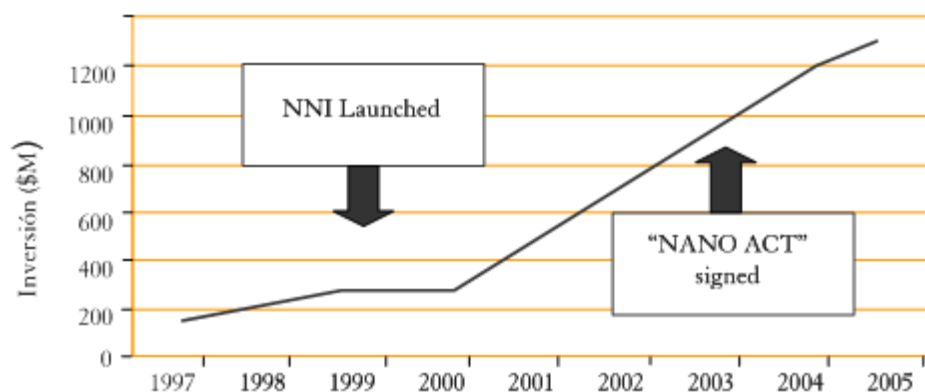


Ilustración 9: Inversión en I+D nanotecnológica en EE.UU.

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/smallstages/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.

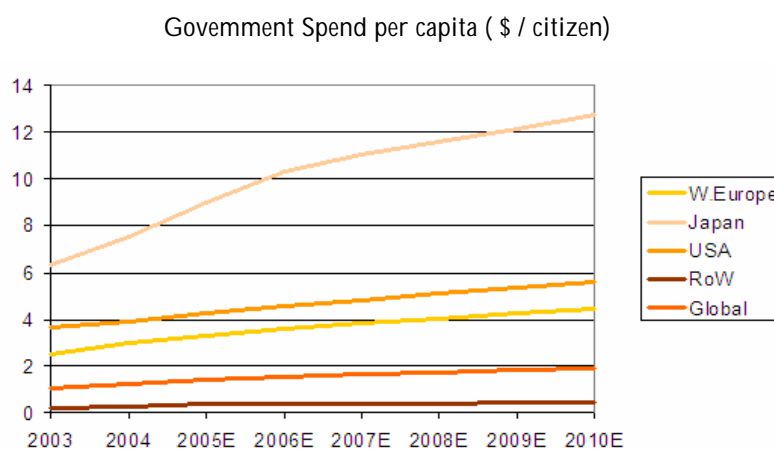


Ilustración 10: Gasto per cápita en I+D en nanotecnología. Fuente: Científica.

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.

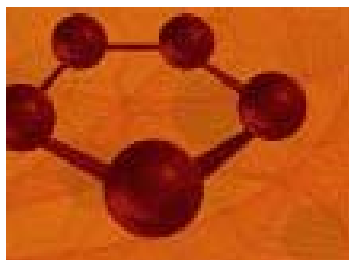
El proyecto nace ambicioso, ya que para 2015 tiene previsto el lanzamiento comercial de más de treinta tecnologías aplicables y la creación de más de quinientas nanostart-ups.

### 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.

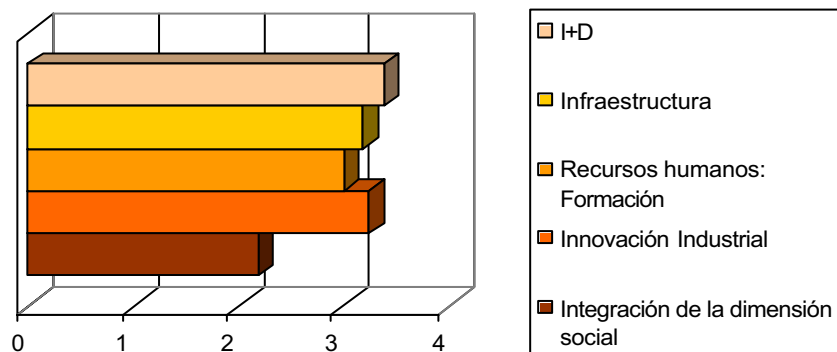


Ilustración 11: Valoración de los expertos del FTF sobre el grado de prioridad de las iniciativas europeas. Fuente: Elaboración propia.

### 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

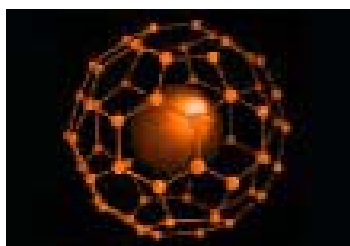
45. Véase <http://cordis.europa.eu.int/press-service/es/20050330.htm>.

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.