

La nanotecnología, basada en la capacidad de medir, manipular y organizar la materia a escala del nanómetro (milmillonésima parte de un metro), promete traer cambios a nuestras vidas que dejarán pequeño el fenómeno internet. Máquinas microscópicas circulando por el interior del cuerpo humano, materiales diez veces más resistentes y flexibles que el acero y que se reparan a sí mismos, o aparatos que se auto replican, son sólo algunas de las muchas aplicaciones que anuncia esta ciencia que en unos años puede hacer realidad el futuro mil veces descrito en las novelas de ciencia-ficción.

La nanorevolución

“Hay mucho sitio al fondo” (*There is plenty of room at the bottom*). Con este juego de palabras el conocido físico Richard Feynman se dirigió en 1959 a su auditorio en la Universidad Tecnológica de California, Caltech, en una de las conferencias más legendarias de la historia de la física. Por primera vez, un científico pedía investigación para conseguir escribir todos los libros de una biblioteca en una pieza plástica del tamaño de una mota de polvo, miniaturizar las computadoras, construir maquinaria de tamaño molecular y herramientas de cirugía capaces de circular por el interior del cuerpo humano. Feynman anunciaba así la infinidad de posibilidades que hay en lo más profundo de la materia y sentaba las bases de la nanotecnología, una disciplina que, sin embargo, aún tuvo que esperar para ser una realidad tangible hasta 1986, cuando Eric Drexler, su otro gran referente histórico, planteó en su libro *Engines of creation* las posibilidades reales de esta ciencia de lo muy, muy pequeño, en ámbitos tan dispares como la medicina, los materiales, la electrónica e, incluso, la exploración espacial.

La puerta de entrada al futuro

Desde entonces, y poco a poco, la nanotecnología, entendida como la manipulación de la materia a escala molecular, está dejando de ser un campo puramente científico, restringido a las facultades de física más punteras del mundo y a algunos centros de investigación, para empezar a cautivar cada vez más la imaginación de científicos y empresarios, que ven en ella la puerta de entrada al futuro mil veces descrito en las novelas de cien-

cia-ficción. Tras imágenes de máquinas microscópicas deshaciendo un coágulo sanguíneo, materiales que se reparan a sí mismos o aparatos que se auto replican, se esconde una realidad con productos ya tangibles y millonarias inversiones en múltiples sectores productivos. La nanotecnología está tan de moda que incluso ya se habla de ella como la nueva revolución científica e industrial y los analistas dicen que los cambios que traerá a nuestras vidas dejarán pequeño el fenómeno internet. Y algo parecido a lo que sucedió con la red de redes está pasando ahora con la nanotecnología: gobiernos, inversores de capital riesgo, grandes empresas tecnológicas y científicos se han sumado con entusiasmo a esta idea atraídos por el enorme potencial económico que puede representar esta ciencia, que todos reconocen aún en sus albores, pero que cuenta ya con una sólida base teórica. Por contra, algunos expertos, mucho más cautos, advierten que la nanotecnología puede convertirse en la próxima burbuja inversora, hasta el punto de que al prefijo *nano* le pueda suceder en estos primeros años del siglo XXI lo mismo que le ocurrió al sufijo *puntocom* a finales del siglo XX, cuando las expectativas sobrepasaron con mucho las aplicaciones reales y las oportunidades de negocio.

Inversiones millonarias

Sea como fuere, lo cierto es que en los tres últimos años se ha multiplicado la financiación disponible. La firma española CMP Científica asegura que en 2001 la inversión gubernamental en nanotecnología en el mundo ascendió a 1.300 millones de euros y que el pasado año la

cantidad destinada por organismos públicos y privados alcanzó los 2.200 millones de euros, de los que aproximadamente la mitad correspondieron sólo a Estados Unidos y Japón. La Unión Europea, por su parte, aunque de forma más modesta e indecisa, ha dotado a la denominada área de *Nanotecnologías, materiales inteligentes y nuevos procesos de producción* contenida en su VI Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico (2002-2006) con 1.300 millones de euros. Aún puede parecer poco dinero, pero en los próximos años se espera un crecimiento exponencial. Según la National Science Foundation (NSF) norteamericana, en 2015 el mercado de productos y servicios relacionados con la nanotecnología alcanzará los 1,1 billones de euros.

La escala del nanómetro

Este creciente despertar de la nanociencia (aunque se ha extendido mucho más el término nanotecnología) se ha ido fraguando a lo largo de las dos últimas décadas mediante la confluencia de varias disciplinas en un interés común por los fenómenos en la escala del nanómetro (milmillonésima parte de un metro). Desde luego, uno de los alicientes que más han pesado a la hora de lanzarse a la búsqueda de lo más pequeño y más rápido ha sido el ansia por conseguir la miniaturización de los dispositivos electrónicos (según la famosa Ley de Moore –uno de los socios fundadores de Intel– el número de transistores que caben en un chip se duplica aproximadamente cada 18 meses, aunque algunos estudios ya advierten de que la potencia de las computadoras, tal y como hoy las conocemos,



puede tocar a su fin en unos diez años dado que el tamaño de los transistores no se podrá reducir indefinidamente). Pero al impulso de esta ciencia también han contribuido otros avances, como el estudio de los fenómenos de escala molecular dentro de las células o en determinados procesos químicos, el desarrollo de la microscopía electrónica convencional o el momento en el que el hombre ha sido capaz de observar y manipular átomos y moléculas mediante el uso de herramientas tan sofisticadas como el microscopio de efecto túnel (STM) y todas las técnicas que de él se han derivado. Pero no han sido los únicos. Desde ámbitos tan distintos como la microelectrónica, la catálisis, la microscopía, el modelado cuántico y la genética el afán ha sido también el mismo: poder crear, observar, entender, manipular y hacer funcionar objetos de escala nanométrica, ya sean éstos puertas lógicas, pequeñas cavidades donde una reacción pueda tener lugar de manera más eficiente, moléculas adsorbidas en una superficie, canales iónicos en membranas celulares o pequeños fragmentos de una cadena

de ADN para inducir una modificación genética.

Carácter multidisciplinar

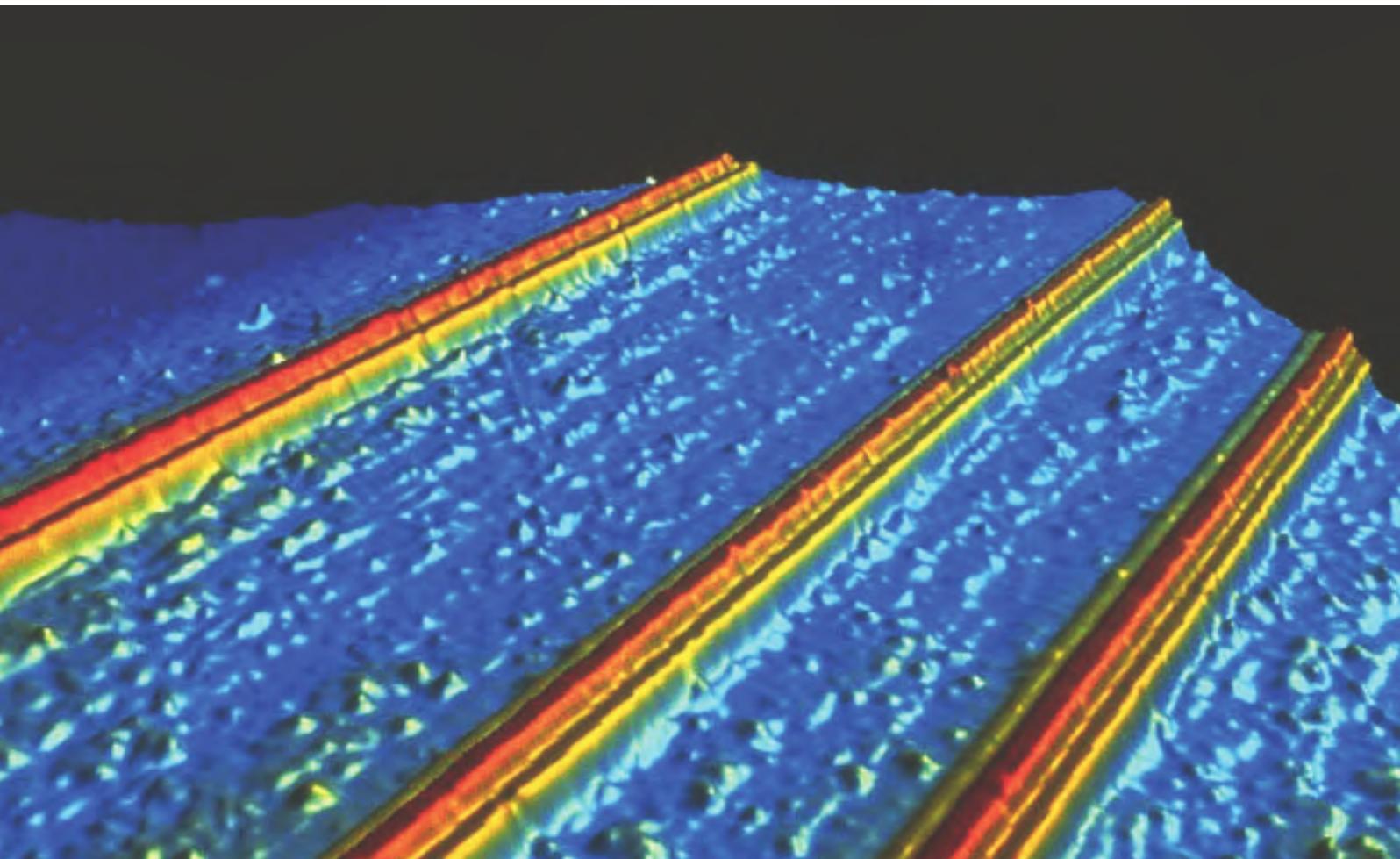
La nanociencia ha introducido, en definitiva, un paulatino cambio en la manera de pensar de muchos científicos e ingenieros, que han visto que existe una forma de fabricar sistemas complejos partiendo desde abajo, desde escalas atómicas, imitando el comportamiento de la naturaleza. Esta nueva forma de ver las cosas es tan arrolladora que las diversas comunidades científicas se han apresurado a bautizar a algunas de las parcelas donde trabajan con nombres donde aparece el prefijo *nano*. Así, ya se habla de nanoquímica, nanomedicina, nanomecánica, nanomagnetismo, nanobiología, nanobioteología, nanoelectrónica... Una realidad que no hace sino poner de manifiesto el carácter multidisciplinar de esta ciencia, en la que los ingenieros electrónicos trabajan con físicos, como responsables de estudiar la materia a escala nanométrica; con químicos, para conseguir sintetizar moléculas y trabajar la materia, y con biólogos, que saben cómo

trabajar con moléculas biológicas. Un encuentro obligado que seguramente pueda retrasar la aparición en el mercado de dispositivos y sistemas nanotecnológicos, pero que representa como pocos la unión de lo orgánico y lo inorgánico.

Cambios inimaginables

El motivo de tanto interés no es extraño. La nanociencia puede cambiarlo todo: las medicinas, la cirugía, la potencia de la informática, los suministros de energía, los alimentos, los vehículos, las técnicas de construcción de edificios y la manufactura de tejidos. Y es que una revolución como ésta, basada en la capacidad de medir, manipular y organizar la materia a la escala del nanómetro, abre posibilidades que ahora ni siquiera imaginamos. Entre sus muchas aplicaciones, los científicos apuntan al aumento en varios órdenes de magnitud de las actuales capacidades de almacenamiento de datos; a la manufacturación de materiales y productos desde abajo a arriba (*bottom-up*), lo que permitirá desarrollar procedimientos de manufactura con menos cantidad de materiales de partida, optimi-

Microfotografía electrónica coloreada de nanocables.



zando el consumo con menor impacto medioambiental; al desarrollo de materiales diez veces más resistentes que el acero, mucho más flexibles, ligeros e, incluso, activos –con capacidad para autorrepararse–, logrando así avances sustanciales en la fabricación de vehículos y estaciones espaciales; a la creación de computadoras más rápidas y de mayor integración, que superarán en miles de veces las prestaciones de los ordenadores más rápidos que existen en la actualidad; a la fabricación de sistemas que liberen drogas o sustancias específicas diseñadas mediante técnicas genéticas para detectar y atacar tumores en el cuerpo humano; y a la creación de minúsculos sensores de muy bajo precio, capaces de controlar multitud de parámetros, de tal forma que muchos procesos industriales o de la vida cotidiana, tales como la conducción vial, detección de contaminantes, grado de madurez de productos agrícolas o electrodomésticos inteligentes, se hagan más precisos y seguros.

Aunque éstas y otras aplicaciones conllevan un inmenso valor añadido, es obvio que muchas de ellas no se harán realidad

hasta dentro de unas décadas (algunas previsiones apuntan a que los primeros constructores o ensambladores –micro-máquinas capaces de manipular moléculas y agruparlas en nanoestructuras y que, además, puedan obedecer instrucciones para autoclonarse– podrían aparecer en los próximos 10 o 15 años, mientras que los nanocomputadores y los reparadores celulares lo harían a mediados de este siglo) o simplemente se quedarán para siempre en el campo de las ideas o los sueños. Pero también es verdad que algunas de ellas ya están en el mercado, especialmente en las áreas de nuevos materiales y dispositivos electrónicos.

Nuevos materiales

Dentro de los nuevos materiales, diferentes compañías están investigando intensamente en el desarrollo de materiales nanocristalinos con propiedades mecánicas muy superiores a los materiales tradicionales, así como en recubrimientos de materiales muy delicados con capas de espesor molecular de materiales mucho menos sensibles al deterioro pero de mayor coste.

En el campo de los dispositivos electrónicos, por su parte, también algunas de las grandes empresas tecnológicas han apostado decididamente por la nanotecnología. Este es el caso de los gigantes IBM y HP, que vienen utilizando esta tecnología en el desarrollo de discos duros de gran capacidad. Con técnicas de posicionamiento preciso de moléculas en la superficie de discos magnéticos ya se han alcanzado capacidades de unos 300 Gb por pulgada cuadrada, unas 200 veces superior a la actual.

Los dispositivos de visualización constituyen, asimismo, otra de las aplicaciones estrella de esta ciencia. La tecnología de nanotubos está posibilitando que empresas como Samsung y Motorola avancen en el desarrollo de pantallas de ordenador flexibles con una idea muy simple: conseguir fabricar ordenadores portátiles, enrollables y a prueba de derrames de café. En este capítulo de aplicaciones presentes no puede olvidarse, por último, el desarrollo de células de combustible que pongan fin a las limitaciones que presentan los actuales dispositivos portátiles

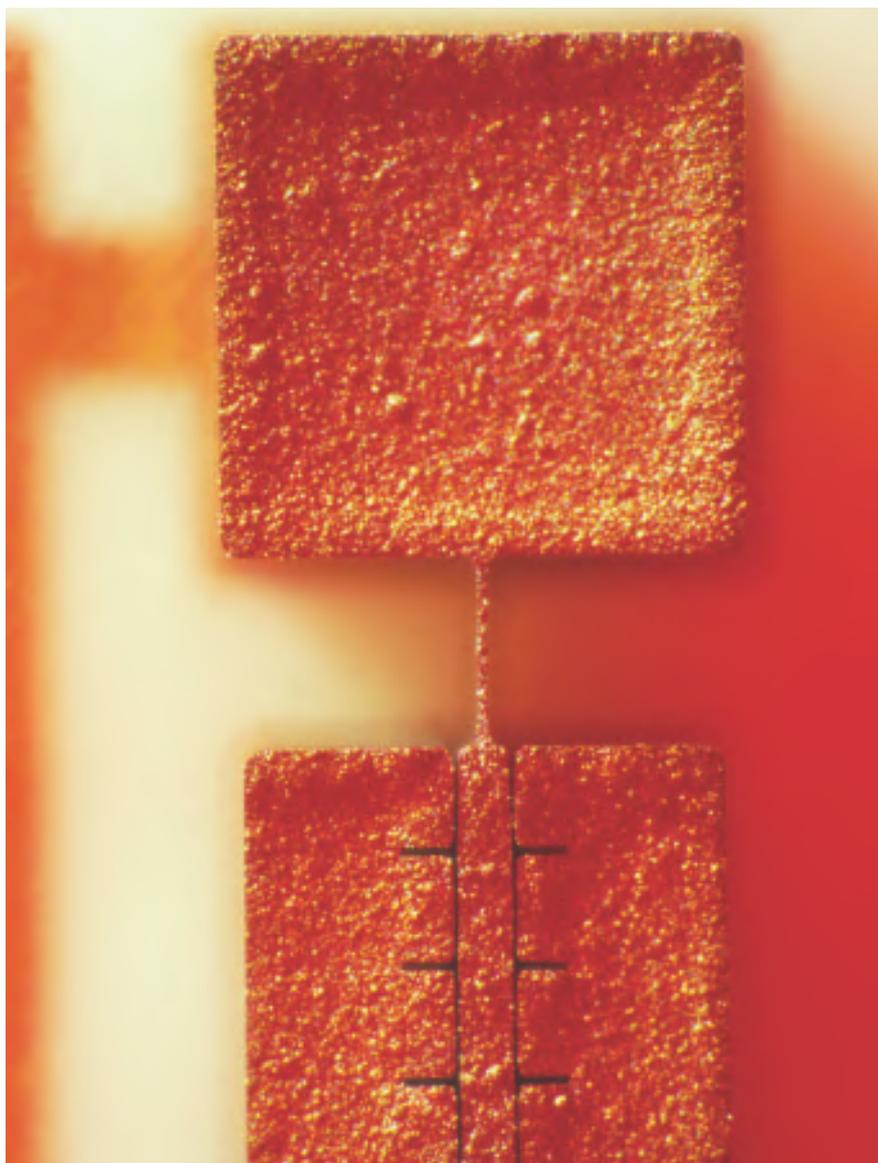
ENREDADOS EN LAS REDES

Nanociencia y NanoSpain, las dos redes españolas de investigación en nanotecnología, nacieron en 2000 con el propósito de impulsar en este terreno iniciativas y esfuerzos de organismos públicos de investigación, centros tecnológicos y empresas. Dos años y medio después, ambas redes están un tanto enredadas por falta de financiación. Ni Nanociencia, más orientada a la investigación básica, ni NanoSpain, dirigida a integrar y aglutinar esfuerzos de instituciones científicas y empresas para reforzar las aplicaciones comerciales de la nanotecnología en sectores tan importantes como el informático, automovilístico y sanitario, han conseguido su despegue definitivo. Y no precisamente por falta de socios. Según su coordinador, Pedro Serena, de la primera forman parte en la actualidad 130 personas, la mayoría físicos de diferentes instituciones científicas españolas, aunque también hay bastantes químicos y algunos biólogos, mientras que de la segunda participan 86 laboratorios.

El buen nivel de los científicos españoles queda reflejado en las muchas líneas de investigación identificadas entre los miembros actuales de NanoSpain, algunas de las cuales sirven para ilustrar su enorme potencial: nanotubos, materiales moleculares, nanomagnetismo y espintrónica, electrónica molecular y nanoelectrónica, computación cuántica, nanoestructuras auto-organizadas, química supramolecular, química bioorgánica y bioinorgánica, biosistemas a la nanoescala y herramientas y métodos de fabricación de nanodispositivos y nanomáquinas. En estos momentos, se calcula que alrededor de un 5% de los investigadores dedicados a la nanociencia en Europa son

españoles, pero el objetivo es que la presencia no sea sólo de intercambio de ideas sino también de intercambio entre laboratorios y líneas productivas. Para ello, y además de estas redes nacionales, en nuestro país están surgiendo otras iniciativas interesantes. La inminente construcción del Instituto de Nanotecnología y Diseño Molecular dentro del Parque Científico de Madrid, que cuenta ya, por otra parte, con el acelerador de iones más potente de España que permitirá, entre otras cosas, detectar partículas de contaminantes ahora no identificados o recubrir las prótesis con sustancias tolerantes por el organismo para evitar el rechazo; el Instituto de Nanobiotecnología de Cataluña, o el anuncio de la creación de los institutos de Nanotecnología en Barcelona y Zaragoza, y el de una Red Local en Galicia, son, para Serena, “ejemplos de que, a pesar de la escasa aportación del Estado, existe un claro interés por subir a los diversos estamentos que hacen posible la I+D en España en el tren de la nanotecnología”.

Con todo, este físico del CSIC asegura que en nanotecnología “todavía no se puede hablar, de forma general, de precisión atómica a la hora de la fabricación de dispositivos. Por el momento, debemos conformarnos con hacerlo en la escala de pocos nanómetros, pero con aplicaciones presentes ya en multitud de campos, desde el militar hasta el sector del automóvil y la monitorización de organismos vivos o, de manera más concreta, en la producción de biosensores, catalizadores, cremas de protección, recubrimientos, pinturas, materiales inteligentes y electrónica molecular”.



Microfotografía óptica de un acelerómetro micromecánico.

por culpa de la escasa capacidad de sus baterías.

Mecánica cuántica

Está claro, en cualquier caso, que esta incursión en el mundo de la nanoescala no es sólo un paso más hacia la miniaturización sino, sobre todo, un terreno cualitativamente nuevo que aparece dominado completamente por la mecánica cuántica.

Ya se sabía, desde hace mucho tiempo, que la materia a escala nanométrica presenta propiedades diferentes de las manifestadas a escalas mayores. Ahora de lo que se trata no es de conformarse con las estructuras nanométricas que la naturaleza nos proporciona o con estructuras fabricadas con poco control, sino de aprovechar la oportunidad de modelar la materia y modificarla en la nanoescala para obtener así propiedades fundamentalmente diferentes a las

habituales. La tarea, si bien es difícil, no es imposible, tal y como señala Pedro Serena, vicedirector del Instituto de Ciencia de los Materiales de Madrid y coordinador de las redes Nanociencia y NanoSpain creadas en España para intentar aglutinar los esfuerzos nacionales que se están llevando a cabo en este campo. “Conocemos bastante bien los principios científicos que determinan el comportamiento de átomos y moléculas sencillas. Y sabemos también, por otro lado, cómo describir el comportamiento de la materia a escala microscópica. La frontera que aún está por explorar es la región de la nanoescala, donde lo pequeño puede ser esencialmente diferente cuando el tamaño del material, al menos en una dimensión, se aproxime a la longitud característica del fenómeno que se trate”, explica este físico del CSIC. En su opinión, los más que probables avances científicos fundamentales en

LA NANOCIENCIA PUEDE CAMBIARLO TODO: LA MEDICINA, LA INFORMÁTICA, EL SUMINISTRO DE ENERGÍA, LOS ALIMENTOS, LOS VEHÍCULOS, LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS Y LA MANUFACTURA DE TEJIDOS

nanociencia “conducirán a cambios drásticos en el modo en que hoy en día se entienden, diseñan y fabrican materiales, dispositivos y sistemas”, y subraya que el desarrollo imparables de la nanotecnología “incidirá de forma decisiva en temas relacionados con el medio ambiente y la salud, por lo que es de esperar que las implicaciones sociales de esta ciencia sean muy profundas”.

La nanotecnología en España

En España, mientras tanto, la situación de la nanotecnología es, cuando menos, contradictoria. Frente a la existencia de numerosos grupos de investigación y diversas iniciativas que han ido creciendo científicamente en paralelo a la nanociencia, la inversión se mueve todavía en términos de *nanopresupuestos*. Así, en el vigente Plan Nacional de I+D+I (2001-2003), un documento de varios cientos de páginas, la palabra nanotecnología aparece tan sólo citada una decena de veces, y vinculada siempre a su futuro desarrollo. Además, y desde una perspectiva industrial, los científicos españoles señalan que existe un gran desconocimiento de las implicaciones que a medio plazo van a tener los desarrollos tecnológicos, de tal forma que temen que la situación de dependencia tecnológica en este campo también se reproduzca en el futuro, tal y como ya ha ocurrido otras veces con diferentes materias.

Para Serena, esta situación no es sino la consecuencia lógica de la falta de previsión y planificación con la que se ha abordado este tema en nuestro país. “Mientras en Europa existe desde hace años una apuesta clara por la nanotecnología, el Gobierno español todavía no le ha encontrado la gracia a esta disciplina. La política científica española ha pasado de largo, descuidando lo que desde hace cinco años se venía veniendo y relegando a nuestro país a un papel de segundones”.

Este retraso en relación a nuestros socios europeos no parece, al menos por el momento, que pueda ser solucionado porque simplemente no existe financiación, o si la hay no alcanza ni para cubrir los gastos de una reunión. Y no es porque no la hayan pedido.

En 2002 las dos redes españolas de investigación en nanotecnología –Nanociencia y NanoSpain– solicitaron al Gobierno ayudas por 840.000 euros para potenciar las aplicaciones industriales en este campo. Estas ayudas fueron canalizadas, según explica Serena, “a través del programa Profit –340.000 euros para proyectos industriales– y de las convocatorias del Ministerio de Ciencia y Tecnología –500.000 euros para el periodo 2003-2005 con el objetivo de elaborar lo que podría definirse como el *libro blanco* de la nanotecnología en España en el que se definen los medios y necesidades que permitan su desarrollo en nuestro país de manera competitiva–. Con ellas se pretendía aumentar el margen de maniobra de ambas redes (NanoSpain carece actualmente de cualquier financiación y Nanociencia dispone tan sólo de 30.000 euros para tres años), de forma que puedan ofrecer proyectos de fácil aplicación para las empresas, poco concienciadas de las posibilidades que abre esta disciplina.

La respuesta a estas ayudas no invita, en ninguno de los dos casos, al optimismo. El coordinador de ambas redes explica que de los 340.000 euros solicitados a través del Profit, “se han concedido, según una resolución aprobada en enero pasado, 40.000 euros para un año, mientras que en el caso del medio millón de euros correspondiente a las convocatorias del Ministerio, y a falta de la confirmación oficial, se habla de que éstas podrían llegar, sólo a los 36.000 euros para un ejercicio”.

A la espera, en cualquier caso, del tratamiento que a esta ciencia le dispense el nuevo Plan Nacional de I+D+I que deberá entrar en vigor en 2004, para este científico del CSIC lo que parece claro “es que el tránsito del saber básico hacia la aplicación industrial se producirá a medio plazo, por lo que desde ahora se hace necesario sentar las bases de este trasvase de conocimiento. Porque más pronto que tarde también llegará el momento en que el personal que trabaje en la industria deberá conocer las técnicas derivadas de la nanociencia, del mismo modo que en los procesos industriales de hoy en día la automatización, robótica o microtecnología son ya términos comunes”.

Red Nacional de Nanotecnología

www.nanospain.net

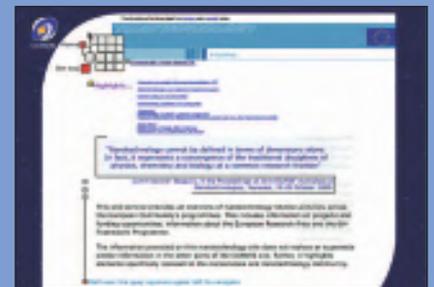
En la página de la Red Española de Nanotecnología NanoSpain se puede encontrar información sobre los principales objetivos de esta red que pretende aglutinar todos los esfuerzos que se hacen en este campo y que en la actualidad está integrada por 85 laboratorios y unos 350 investigadores.



Cordis

www.cordis.lu/nanotechnology

Página creada por la Unión Europea dedicada a la nanotecnología, en la que aparece la nano-investigación cofinanciada por la UE en virtud de sus programas marco de investigación. Entre los distintos servicios que ofrece figura una sala de prensa, que incluye perspectivas acerca del mundo “pequeño”, comunicados de prensa y un catálogo de proyectos.



CMP-Científica

www.cmp-cientifica.com

Web de la empresa española CMP-Científica en la que, entre otros muchos temas, se puede encontrar información sobre la serie de congresos “Trends in Nanotechnology” celebrados en España durante los últimos tres años y que este año se celebra en Salamanca.

Otros sitios de interés

www.phantomsnet.com

Página de la Red de Excelencia de Nanoelectrónica puesta en marcha por la Comisión Europea, con más de 200 socios, y coordinada desde España por la empresa CMP-Científica.

www.imm.cnm.csic.es/pcm/in dm.htm

Web del futuro Instituto de Nanotecnología y Diseño Molecular del Parque Científico de Madrid.

www.fsp.csic.es

Web del Laboratorio de Física de Sistemas Pequeños y Nanotecnología.

www.nano.gov

Web de la National Science Foundation (NSF), de Estados Unidos, en la que se puede encontrar información sobre su plan National Nanotechnology Initiative (NNI), que prevé destinar 1.000 millones dólares para la fomentar hasta 2006 la investigación multidisciplinar.

www.onr.navy.mil/onrasia/gnrl/nano.html

Página en la que figuran datos sobre la situación de la nanociencia en los países asiáticos más industrializados.

www.nano.org.uk

Web del instituto virtual Institute of Nanotechnology del Reino Unido.

www.vjnano.org

Revista electrónica Virtual Journal of Nanoscale Science and Technology.

www.nanozine.com.

Publicación electrónica con información sobre nanotecnología.