

La implantación de la nanotecnología en España: muchas luces y algunas sombras

PEDRO A. SERENA*

RESUMEN. Este artículo describe las principales acciones realizadas en España para llevar a cabo la implantación de la nanociencia y la nanotecnología durante la última década en diversos frentes: investigación, transferencia, divulgación, formación, etc. En particular, estas actividades se encuadran dentro del contexto de las acciones estratégicas que el Ministerio de Ciencia e Innovación ha impulsado desde el año 2004. Se describen algunos actos exitosos como la puesta en marcha de proyectos de investigación focalizada, el fomento de consorcios industriales, la formación de una gran red de investigadores, o la construcción de centros de investigación. Se indican también algunos problemas detectados causados por cierta falta de coordinación entre todos los actores involucrados.

PALABRAS CLAVE: política científica, acciones estratégicas, implementación de nanotecnología, Plan Nacional de Investigación.

ABSTRACT. This article describes the main actions taken by Spain in order to achieve the implantation of nanoscience and nanotechnology during the last decade in diverse fronts: research, transfer, transmission, training, etc. In particular these actions are framed within the context of the strategic actions that the Ministry of Science and Innovation had carried out since 2004. The text describes some successful actions such as the launch of focalized research projects; the stimulus to industrial consortiums: the training of a vast network of researchers; or the construction of research centers. Some problems are also identified, mainly as a result of the existence of some degree of lack of coordination among the actors involved.

KEY WORDS: scientific policy, strategic actions, nanotechnology implementation, National Research Plan.

INTRODUCCIÓN: UN BREVE RESUMEN DE 50 AÑOS DE HISTORIA

Ha transcurrido casi medio siglo desde el visionario discurso de R. Feynman (Feynman, 1960) que permitió soñar con dominar la materia a escala nanométrica, siendo el antecedente de lo que hoy llamamos nanotecnología. La llamada ley de Moore (Moore, 1965) se ha venido cumpliendo sin grandes problemas durante más de 40 años y ya se habla con toda familiaridad de las tecnologías de 32 nm para las generaciones de procesadores que tendremos en nuestras casas y oficinas a finales de este año. El propio término “nanotecnología” ha cumplido ya 35 años (Taniguchi, 1974). Nos separan más de dos décadas de la invención de los primeros microscopios de barrido, que nos han permitido desde entonces rastrear el nanomundo (Binnig, 1987). También han alcanzado la mayoría de edad las arriesgadas ideas de E. Drexler, que propuso la fabricación de materiales y dispositivos mediante técnicas ascendentes (*bottom-up*) usando minúsculos ensambladores de átomos y moléculas (Drexler, 1986). Los nanotubos

* Investigador del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). En la actualidad es miembro del Consejo Científico Asesor del CSIC, y del Consejo Asesor Científico del Parque Científico de Madrid. pedro.serena@icmm.csic.es.

de carbono se descubrieron un poco antes del nacimiento de los estudiantes que ahora ingresan en nuestras universidades (Iijima, 1991). Es cierto: la nanotecnología ha madurado en un lento proceso y ya se encuentra plenamente insertada en el sistema académico. Quizás es más correcto decir que la “nanociencia” es la rama científica que se ha estado desarrollando durante estas tres últimas décadas, pero el término nanotecnología es con el que solemos designar tanto los aspectos básicos como los aplicados de la investigación a escala nanométrica.

La inserción de la nanotecnología ha sido más pronunciada a lo largo de la última década, ya que los gobiernos de los países más avanzados del mundo han realizado una apuesta decidida por invertir grandes recursos financieros para fomentar la investigación en nanotecnología. Hay multitud de informes que contabilizan las grandes sumas de capital que la nanotecnología ha logrado atraer (Roco, 2005; Comisión Europea, 2005; Correia, 2007; Delgado, 2008; Delgado, 2009; Kleike 2009). Sin embargo, una gran parte de la inversión efectuada hasta la fecha tiene su origen en los fondos públicos, como suele ocurrir con las ramas más emergentes del saber. Estos recursos se han utilizado de forma similar en casi todos los países: para financiar proyectos multidisciplinarios, la adquisición de costosos equipamientos, y la construcción de centros específicamente orientados a la investigación en nanotecnología.

¿Qué fuerza empuja a los gobiernos de las naciones más poderosas para mantener un ritmo creciente de inversiones en nanotecnología? No cabe duda que detrás de estas cantidades astronómicas existe la convicción entre los responsables políticos de que los desarrollos y avances de la nanotecnología van a constituir la base para la próxima revolución tecnológica. Una revolución tecnológica que, en convergencia con los avances en tecnologías de las comunicaciones, en biotecnología y en el ámbito de las neurociencias, puede suponer el tránsito hacia un nuevo modelo económico y social (Roco, 2002; Comisión Europea, 2004 A; Fontela, 2006; Delgado, 2008). Dicha revolución supondrá una gran oportunidad de negocio para las empresas de aquellos países que hayan tenido la capacidad de vislumbrar ese revolucionario futuro. Ahí reside, en parte, la fuerza que sigue impulsando la inversión en nanotecnología.

La percepción de la existencia de un gran negocio ha propiciado que el sector privado vaya aumentando su peso en la financiación de la nanotecnología. Se estima que la inversión conjunta público-privada en nanotecnología ha sido superior a los 18,200 millones de dólares en el año 2008 (Lux Research, 2008). Sin embargo, no todas las iniciativas para introducir las nanotecnologías en la industria van a generar beneficios de forma inmediata, lo que ha sido utilizado por algunos sectores para hablar del fracaso de las expectativas creadas. Además, la actual crisis económica, de carácter financiero, ha ralentizado las inversiones tanto públicas como privadas, por lo que en estos momentos existe cierta incertidumbre sobre el crecimiento del sector. A pesar de esta situación, las cifras del negocio vinculado alcanzaron en 2007 un volumen cercano a los 147 mil millones de dólares según la compañía Lux Research (Lux Research, 2008). Esta misma compañía mantiene la previsión de que este mercado alcanzará la increíble cifra de 3.1 billones de dólares en el año 2015. Es decir, en ese momento cada habitante del planeta acaparará una cuota del nanomercado de más de 300 dólares. Sin embargo, es fácil predecir que este negocio estará muy desigualmente repartido pues los habitantes de las economías más desarrolladas (EUA, Japón, la Unión Europea, Canadá, etc.) serán los grandes impulsores, clientes y beneficiarios del mismo.

Las ganancias que se esperan son suculentas, pero existen ciertos condicionantes que conviene tener en cuenta para que ese mercado se desarrolle siguiendo las

predicciones de los expertos. Estos condicionantes de mercado tienen que ver con la percepción de la nanotecnología por parte de la población. El desarrollo de bienes de consumo o servicios basados en la nanotecnología se encontrará en su camino con problemas relacionados con aspectos éticos, medioambientales, sanitarios, de seguridad laboral, legales, etc. (Fielder, 1994; Roco, 2001; Sweeney, 2003; Baird, 2004; Shatkin, 2008; Delgado, 2008) La Comisión Europea, los gobiernos de EUA, de Japón, etc., están incluyendo entre sus prioridades estudios sobre toxicología, impacto ambiental, consecuencias éticas, percepción social, etc., de las nanotecnologías para lograr que éstas tengan un aterrizaje “suave y sin riesgos” en la sociedad, evitando una percepción generalizada negativa que pudiera bloquear el desarrollo e implantación de las mismas.

LA IMPLANTACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA EN ESPAÑA

Durante los últimos treinta años, España ha sufrido una gran transformación económica, cultural y social, situándose entre las diez economías más importantes del mundo (Banco Mundial, 2007). Este cambio ha sido fruto de diversos factores pero, sin duda alguna, el más importante ha sido su incorporación a la Unión Europea, que permitió, entre otras cosas, acceder a fondos estructurales y de cohesión con los que sufragar costosas infraestructuras. Pero el cambio experimentado también se debe a cuestiones más sutiles, como la adopción de nuevos modelos de gestión y organización o la libre circulación de ciudadanos y bienes entre países.

El ámbito científico también se ha beneficiado de las inversiones en infraestructuras, aunque quizás un factor que debe tenerse en cuenta es la existencia de una masa crítica de investigadores (con formación complementaria en el extranjero). Como consecuencia de este desarrollo científico, en estos momentos, el 3.1% de los artículos publicados en revistas internacionales tiene algún autor de una institución española, lo que nos sitúa en la novena posición mundial por número de artículos y en décima posición en cuanto al número total de citas (ISI Thomson, 2008). Todo este proceso de cambio se ha producido en un contexto de fuerte crecimiento económico y gracias a un paulatino cambio de actitud en los dirigentes políticos. Hoy día no existe ningún partido político, ni gobierno (local, regional o nacional) que no manifiesten su apoyo al aumento de la inversión en I+D como elemento imprescindible para convertirnos en una sociedad basada en el conocimiento, propuesta que está en el horizonte de las actuaciones a medio-largo plazo de la Unión Europea.

En España, la nanotecnología se ha desarrollado siguiendo los mismos patrones que las demás ramas científicas, aunque con algunas particularidades que condicionan el panorama actual (Correia, 2006; Correia, 2008). Para poder entender esta evolución vamos a diferenciar tres periodos diferentes.

1980-2000. Durante esta fase, los primeros desarrollos en nanociencia se producen en los laboratorios de universidades y centros de investigación, propiciando la formación de nuevos expertos que son los que en estos momentos pilotan la investigación en nanotecnología. Esta fase expansiva se produce en un entorno sociopolítico que favorece las inversiones en formación (agresiva política de becas) y la creación de numerosos grupos de investigación. Como hecho relevante se debe mencionar que el grupo de Nuevas Microscopías de la Universidad Autónoma de Madrid fue el segundo grupo del mundo en poseer un microscopio de efecto túnel (STM), equipo que fue cedido por H. Rohrer, uno de los inventores de este fascinante instrumento. Este he-

cho dio lugar a la aparición de toda una generación de científicos que han hecho de este campus uno de los más importantes del mundo en el uso de las técnicas de microscopía local (SPM). Sin embargo, durante esta etapa no existen indicios de coordinación entre los grupos y las administraciones públicas que ignoraban los desarrollos en nanotecnología.

2000-2004. A finales de los años 1990 surge en EUA la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (Kleike, 2009) que se convirtió en referente en otros países. De esta forma, comienza una etapa en la que los investigadores españoles se organizan alrededor de redes como la desaparecida Nanociencia (Serena, 2005) o la Red NanoSpain (NanoSpain, 2009), que continúa ejerciendo de aglutinante de la comunidad científica. Durante esta etapa, surgen diversas iniciativas que contribuyeron tanto a conectar los grupos de investigación entre sí como a dar proyección internacional a dicha actividad. Se debe destacar en este punto la puesta en marcha de la serie de conferencias Trends in Nanotechnology (TNT, 2009). Durante éstas, las redes de investigación comienzan a ejercer cierta presión sobre los dirigentes políticos para que se tenga en cuenta a la comunidad que trabaja en nanotecnología.

2004-2009. Durante los últimos 6 años la nanotecnología ha entrado a formar parte de las prioridades de la Administración General del Estado, mediante la creación de una Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología que ha tenido cabida en los Planes Nacionales de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) del periodo 2004-2007 (PNIDI, 2004) y del periodo 2008-2011 (PNIDI, 2008). Estas actuaciones recogen también las recomendaciones de la Comisión Europea para impulsar la implantación de programas específicos en nanotecnología (Comisión Europea, 2004 B).

Las líneas prioritarias de la Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología son:

- Nanotecnologías aplicadas en materiales y nuevos materiales en el ámbito de la salud.
- Nanotecnologías para la información y telecomunicaciones.
- Nanotecnologías en relación con la industria y el medioambiente.
- Materiales inteligentes basados en el conocimiento con propiedades a medida y materiales y recubrimientos de altas prestaciones para nuevos productos y procesos.
- Avances en tecnología y procesado de materiales.
- Desarrollo y validación de nuevos modelos y estrategias industriales. Nuevas tecnologías para el diseño y los procesos de fabricación. Producción en red.
- Explotación de tecnologías convergentes.

Como se puede observar, existe una clara tendencia de favorecer la creación de conocimiento aplicado en sectores muy concretos. Dichos sectores fueron detectados mediante diversos estudios de prospectiva (OPRI, 2008) en los que diferentes temáticas científicotécnicas fueron analizadas, determinando su posición relativa en el entorno internacional, la capacidad tecnológica existente en el país para su posterior desarrollo y el interés que poseían desde una perspectiva de mercado.

Además de las actuaciones propias de los Planes Nacionales, en junio de 2005, el gobierno de España añadió otra más, el denominado Programa Ingenio 2010 (Inge-

nio, 2005), cuya finalidad es acelerar la convergencia con la Unión Europea. Esta nueva iniciativa destina abundantes recursos a la creación de consorcios estratégicos de investigación tanto públicos (Programa Consolider) como público-privados (Programa CENIT). El efecto de estas actuaciones aún no se ha podido calibrar dado que los proyectos aprobados bajo su cobertura sólo llevan dos años en marcha en el mejor de los casos. Estos consorcios estratégicos tienen también como objetivo el incremento de la transferencia de conocimiento desde el sector académico al productivo. Estos consorcios también intentan potenciar la creación de nuevas empresas de base tecnológica (NEBTS), que aprovecharían las infraestructuras que ofrece la extensa red de parques científicos y tecnológicos que cubre todo el territorio nacional (APTE, 2009).

Con la ayuda de todos estos nuevos instrumentos, las universidades, los organismos públicos de investigación, las fundaciones sin ánimo de lucro, los gobiernos regionales, y las empresas han fomentado la creación de grupos e institutos dedicados a nanotecnología. Las universidades también han propiciado la creación de estudios de posgrado de esta temática. Se puede decir que hay un gran dinamismo en España en el ámbito de la nanotecnología, aunque la situación económica actual ha ralentizado algo el ritmo de crecimiento.

LA FINANCIACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA EN ESPAÑA

La financiación de la nanotecnología en España tiene diversas procedencias. Por un lado nos encontramos con un sector público descentralizado, donde actúan como agentes financiadores tanto el gobierno central como los gobiernos de las comunidades autónomas. Por otro lado, el sector privado no ha efectuado todavía una apuesta nítida por este sector. La cuantificación de la financiación es un tema complejo porque las estructuras de gestión de la información públicas no están suficientemente desarrolladas, por lo que es complejo conocer el gasto, número de proyectos y su tipología, etc., que cada gobierno regional financia. Algo similar ocurre con los fondos provenientes del sector privado: es muy difícil su identificación. Por lo tanto, los datos a los que se tiene acceso de una forma más fidedigna corresponden a las inversiones efectuadas por el gobierno central a través de diferentes informes que se han realizado desde el Ministerio de Ciencia e Innovación (Serena, 2009 A y B). Dichos datos revelan que se ha producido una gran inversión en proyectos, equipamientos, y edificios, que están permitiendo la formación de un verdadero entramado de centros de investigación de excelencia que describiremos más adelante.

Como ejemplo de la inversión efectuada en nanotecnología, el cuadro 1 recoge la cifra actualizada que desde el gobierno de España se destinó a esta temática durante el año 2008. Tal como refleja dicho cuadro, esta inversión se ha llevado a cabo fundamentalmente desde dos ministerios, el de Ciencia e Innovación, y el de Industria, Comercio y Turismo. Las subvenciones otorgadas a proyectos, construcción de centros, equipamiento, etc., han sido superiores a los 60 millones de euros, mientras que se aprobaron casi 23 millones de euros en la modalidad de préstamos a empresas innovadoras. Estas cifras sitúan el conjunto del esfuerzo inversor por parte de la Administración General del Estado en más de 83 millones de euros, lo cual representa un esfuerzo superior a los 1.7 euros por habitante y año. Como se ha mencionado anteriormente estos datos no incluyen la inversión efectuada por los gobiernos de las comunidades autónomas ni la que se realiza desde el sector privado. Tampoco se tienen en cuenta algunas partidas presupuestarias de los departamentos de investigación

CUADRO 1. Esfuerzo presupuestario efectuado por el gobierno de España en el ámbito de las nanociencias y nanotecnologías durante el año 2008

Ministerio	Cantidades otorgadas bajo la modalidad de subvención (k€)	Cantidades otorgadas bajo la modalidad de préstamo (k€)
Ministerio de Ciencia e Innovación	56436.37	16288.31
Ministerio de Industria, Turismo y Comercio	4167.95	6301.56
Total	60604.32	22589.87

Fuente: Ministerio de Ciencia e Innovación de España (<http://www.micinn.es>) y (Serena, 2009B).

del Ministerio de Defensa. En conjunto, estas cifras permiten a nuestro país situarse entre los quince países con mayor inversión per cápita en nanotecnología (Comisión Europea, 2005).

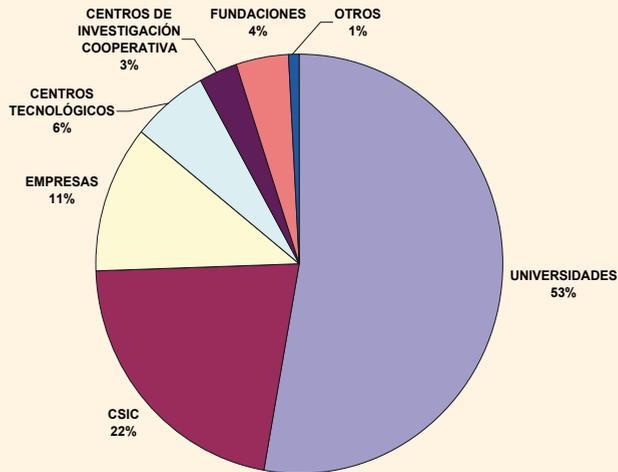
LOS ACTORES ESPAÑOLES DE LA NANOTECNOLOGÍA

La comunidad de científicos que trabajan en nanotecnologías es muy grande y cubre todas las temáticas propias de este ámbito tan sumamente transversal. Por poner un ejemplo, la convocatoria del año 2004 de proyectos de investigación de la Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología recibió más de 580 solicitudes de otros tantos grupos de investigación. Es cierto que no todos los grupos que se presentaron a dicha convocatoria trabajaban en ese momento en nanotecnología, pero es evidente que muchos grupos entendieron que la nanotecnología era un tema de futuro al que deseaban acceder.

Una buena fuente de información sobre la actividad en nanotecnología en España la proporciona la Red NanoSpain (NanoSpain, 2009), con más de 275 grupos de investigación registrados en la actualidad, lo que representa a más de 1300 investigadores. Con los datos de esta red, se puede hacer una descripción realista de la situación actual de la nanotecnología española. La figura 1 ilustra el tipo de institución al que pertenecen estos investigadores. Es evidente que el potencial investigador se concentra en el entorno académico, concretamente en las universidades, con el 53%, y en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), con el 22%. La aportación del sector privado y de los centros tecnológicos (generalmente vinculados al sector productivo) sólo representa, en conjunto, un 17% de los laboratorios donde se hace investigación en nanotecnología. Estos datos demuestran que en realidad se sigue haciendo más nanociencia que nanotecnología, aunque se observa un rápido crecimiento del porcentaje de los laboratorios más cercanos a las empresas.

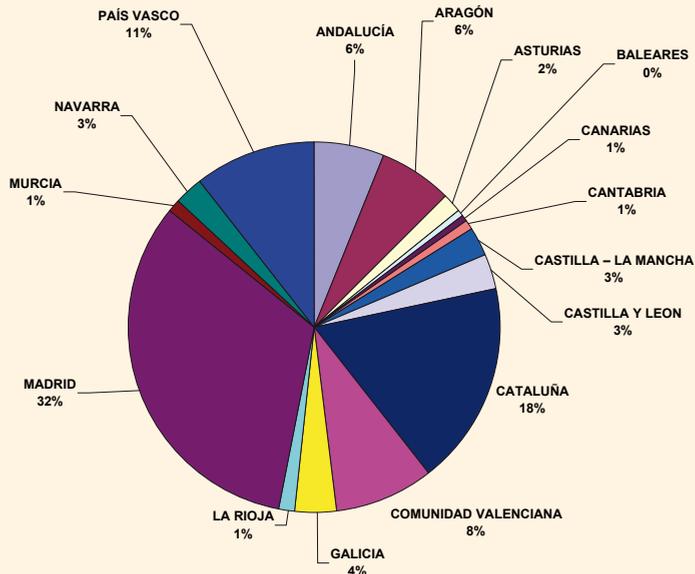
En cuanto a la distribución geográfica de la actividad en nanotecnología, la figura 2 muestra que, tal como ocurre en otros ámbitos de la investigación española, son cuatro las comunidades autónomas en las que se concentra la actividad: Madrid (32%), Cataluña (18%), País Vasco (11%) y Comunidad Autónoma Valenciana (8%). Esta distribución muestra que el 70% de los grupos se concentran en los entornos geográficos donde existen universidades de gran tradición investigadora y, simultáneamente, mayor capacidad industrial. Otras regiones como Navarra o Aragón también tienen un papel relevante a pesar de su pequeño tamaño (en términos de población).

FIGURA 1. Procedencia (por tipo de institución) de los grupos de investigación en nanotecnología en España



Fuente: Elaboración propia y Red NanoSpain (NanoSpain, 2009).

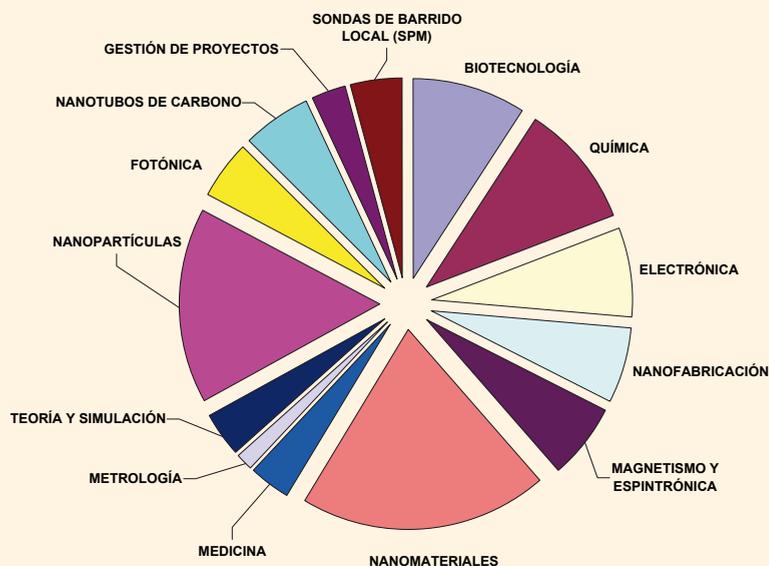
FIGURA 2. Distribución geográfica por comunidades autónomas de los grupos de investigación en nanotecnología en España



Fuente: Elaboración propia y Red NanoSpain (NanoSpain, 2009).

Ya conocemos a los actores, su número y dónde están ubicados. Ahora queda conocer en qué trabajan. La figura 3 muestra la distribución porcentual de las temáticas en las que los grupos de investigación desarrollan su actividad. Es evidente que los temas más destacados son aquellos relacionados con nanomateriales (20%), nanopartículas (16%), química (10%) y biotecnología (9%). La importancia de estas temáticas quizás esté conectada con el tipo de tejido productivo del país, más orientado hacia la manufactura de nuevos materiales para los sectores de la automoción y la aeronáutica, la producción de nuevos catalizadores de aplicación en el sector químico, o hacia la producción de fármacos o sistemas de diagnóstico. Por otro lado, los grupos que realizan su actividad en las temáticas más básicas de fotónica, electrónica, magnetismo y espintrónica son menos abundantes. En este caso, estas actividades también tienen menos peso en la industria española, que no tiene su fuerte en el sector de la electrónica o las comunicaciones.

FIGURA 3. Distribución de las temáticas de investigación desarrolladas por los grupos de investigación en nanotecnología en España



Fuente: Elaboración propia y Red NanoSpain (NanoSpain, 2009).

ALGUNAS ACTUACIONES RELEVANTES

En las secciones anteriores se ha puesto de manifiesto la existencia de dos elementos que explican el auge de la nanotecnología en España. Por un lado, la existencia de numerosos grupos de investigación, que cubren multitud de líneas de investigación, y, por otro, la puesta en marcha de mecanismos de promoción y financiación de la nanotecnología por parte de las administraciones públicas. En este caldo de cultivo, han sido muchas las iniciativas que se han desarrollado, como el establecimiento de re-

des nacionales, regionales o sectoriales, el diseño y la puesta en marcha de nuevos centros de investigación, la adquisición de equipamiento para mejorar el existente en centros más antiguos, la elaboración de informes y estudios de prospectiva, la puesta en marcha de planes de estudios en universidades, el apoyo a la realización de actuaciones dirigidas a la divulgación científica, etc. Es imposible realizar una descripción profunda de cada una de estas iniciativas en este artículo, por lo que se destacará a continuación sólo algunas de ellas. Las iniciativas que se describirán se han seleccionado por estar directamente relacionadas con los siguientes objetivos del Plan Nacional de I+D+I: (i) aumentar el apoyo a los grupos de excelencia; (ii) hacer más eficiente la transferencia de tecnología al sector productivo; (iii) mejorar las infraestructuras y garantizar su acceso a los grupos; (iv) incidir en la internacionalización de la ciencia; (v) coordinar las actuaciones de los distintos agentes financiadores de las actividades de I+D+I, y, (vi) acercar la ciencia a la ciudadanía.

- **Hacia la excelencia: el programa Consolider.** Dentro de la iniciativa Ingenio 2010 se diseñó el Programa Consolider que fomenta la constitución de consorcios de grupos de investigación de reconocido prestigio internacional. Cada consorcio, de una duración de 5 años, está formado por una media de 6 grupos y recibe una financiación promedio de 5 millones de euros. Los consorcios son elegidos tras un exigente proceso de evaluación y únicamente se conceden una decena de nuevos proyectos cada año. El cuadro 2 muestra una relación de los proyectos Consolider relacionados con la nanotecnología que han sido aprobados hasta el momento actual. Este cuadro refleja la variedad de las temáticas de los consorcios de investigación financiados. En conjunto, se han destinado 38 millones de euros en tres años.
- **Fomentar la transferencia: el programa CENIT.** Este programa también forma parte de la iniciativa Ingenio 2010 y tiene como objetivo la constitución de consorcios estratégicos nacionales de investigación técnica (CENIT). Estas ayudas se dirigen a la financiación de grandes proyectos integrados de investigación industrial de carácter estratégico y con largo alcance científicotécnico. Los proyectos aprobados reciben una subvención de entre 15 y 40 millones de euros y su duración es de cuatro años. En los últimos tres años se han aprobado una decena de consorcios CENIT relacionados con la nanotecnología, alcanzando un presupuesto total de 280 millones de euros, de los cuales la mitad se aportan como subvención desde el Estado. Entre las temáticas que destacan podemos señalar las que tienen relación con la aplicación de las nanotecnologías al desarrollo de nuevos fármacos y sistemas de diagnóstico de materiales para la construcción de edificios, para la industria de la automoción, o para la generación de energía fotovoltaica o eólica.
- **Mejora de infraestructuras: el nuevo mapa de centros de nanotecnología.** A lo largo de los últimos años se han ido realizando inversiones con el fin de establecer una red de centros avanzados dedicados a la investigación en nanociencias y nanotecnologías. Estos centros han tenido diferentes mecanismos para su financiación y han surgido, por lo general, bajo la demanda de grupos puntuales de científicos que necesitaban dar un salto cualitativo en su investigación. En la figura 4 se muestra el mapa de lo que será la futura red de centros dedicados a nanotecnología. En el cuadro 3, a modo de leyenda, se identifica cada uno de

CUADRO 2. Consorcios de grupos de investigación que han sido financiados en el periodo 2006-2008 dentro del Programa Consolider (Ingenio 2010)

Año	Título del proyecto	Investigador	Organismo coordinador	Financiación (kf)
2006	Investigación en materia de una nueva generación de materiales, células y sistemas para la conversión fotovoltaica	Antonio Luque López	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	4,000.00 €
2006	Nanotecnologías en biomedicina	Ricardo Ibarra García	Universidad de Zaragoza (UZ)	4,500.00 €
2006	Creación de un nuevo centro de i+d para la coordinación, desarrollo y gestión de la investigación en nanociencias en el país vasco	Pedro M. Echenique Landiribar	Universidad del País Vasco (UPV)	4,500.00 €
2007	Hybrid optoelectronic and photovoltaic devices for renewable energy	Juan Bisquert Mascarell	Universitat Jaume I de Castelló (UJI)	4,000.00 €
2007	Nanociencia molecular	Eugenio Coronado Miralles	Universidad de Valencia (UV)	5,750.00 €
2007	Materiales avanzados y Nanotecnologías para dispositivos y sistemas eléctricos, electrónicos y magnetoeléctricos innovadores	Xavier Obradors Berenguer	Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)	5,000.00 €
2007	Nanolight.es - Light control on the nanoscale	Niek van Hulst	Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO)	6,685.00 €
2008	Engineering metamaterials	Javier Martí Sendra	Universidad Politécnica de Valencia (UPV)	3,500.00 €

Fuente: Elaboración propia, Ministerio de Ciencia e Innovación de España (<http://www.micinn.es>) y (Serena, 2009B).

estos centros. Éstos están en fase de lanzamiento y estarán a pleno rendimiento en una década.

- **Iniciativas de internacionalización.** Tras unos años de fuerte desarrollo de nuestras capacidades científicas ha llegado el momento de hacer un esfuerzo por dar visibilidad a toda la ciencia y tecnología españolas en el exterior. La nanotecnología no es ajena a esta situación, y desde diversas entidades se busca la mejor forma de promocionar los resultados de nuestros laboratorios. Por ejemplo, el Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX, 2009) en colaboración con la Fundación Phantoms (Phantoms, 2009) han facilitado la participación de centros de investigación, universidades y empresas en ferias internacionales, entre las que destacan los eventos Nano Tech 2008 y 2009, que se celebraron en Tokio. Otras actuaciones relacionadas con la internacionalización de la nanotecnología se diseñan y ejecutan en el Ministerio de Ciencia e Innovación, mediante la firma de convenios bilaterales como los que se han establecido en 2009 con la India o Japón. El CSIC ha firmado convenios específicos con Taiwán que incluyen la financiación de proyectos conjuntos de nanotecnología.

FIGURA 4. Mapa de los centros emergentes en nanotecnología en España. Los números indican la ubicación de los centros descritos en el cuadro 3



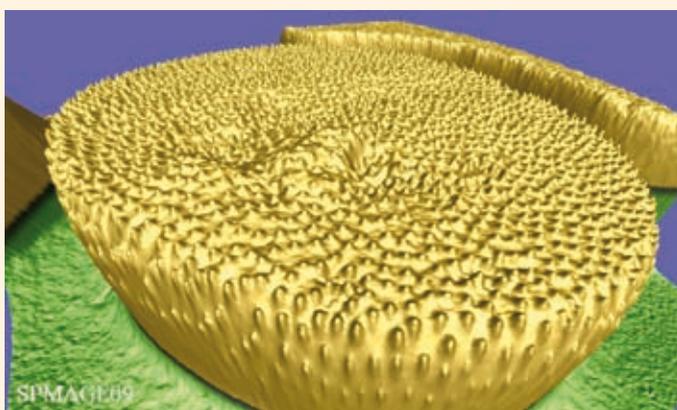
CUADRO 3. Centros en marcha o en fase de construcción relacionados con la investigación en nanociencia y nanotecnología

	Nombre del centro	Patrocinadores	Sitio web
1	Laboratorio Ibérico Internacional de Nanotecnología, Braga (Portugal)	Gobiernos de Portugal y España	http://www.iinl.org/
2	Centro de Investigación de Nanomateriales y Nanotecnología (CINN)	Universidad de Oviedo, CSIC y Principado de Asturias	(web no disponible)
3	CIC Nanogune (País Vasco)	Gobierno Vasco, Universidad del País Vasco, y Ministerio de Ciencia e Innovación	http://www.nanogune.eu
4	Instituto Universitario de Nanociencias de Aragón (INA)	Universidad de Zaragoza y Gobierno de Aragón	http://www.unizar.es/ina/ina.htm
5	Centre d'Investigacions en Nanociència i Nanotecnologia (CIN2)	Institut Català de Nanotecnologia (Generalitat de Catalunya) y CSIC	http://www.cin2.es
6	Institut de Ciències Fotòniques (ICFO)	Generalitat de Catalunya	http://www.icfo.es
7	Centro de Tecnología Nanofotónica de Valencia (NTC)	Universidad Politécnica de Valencia	http://www.ntc.upv.es/index.html
8	Centro Andaluz de Nanomedicina y Nanotecnología (BIONAND), Málaga	Junta de Andalucía	(sin web disponible)
9	IMDEA-Nanociencia	Comunidad de Madrid y Ministerio de Ciencia e Innovación.	http://www.nanociencia.imdea.org

Fuente: Elaboración propia y (Correia, 2008; Serena, 2009 A; Serena, 2009 B).

- **Mejorando la coordinación: la creación de los Observatorios ICONO.** La Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT, 2009) está poniendo en marcha en estos momentos el Observatorio Nacional de la Innovación y del Conocimiento (Observatorio ICONO). Este observatorio se encargará del seguimiento y análisis de las políticas desarrolladas por las administraciones en el ámbito de las actividades de I+D+I, y además podrá elevar propuestas de actuación y medidas correctoras. El observatorio ICONO contará con un grupo de trabajo exclusivamente dedicado al seguimiento de la nanociencia y la nanotecnología, que puede ser de gran importancia en la coordinación y optimización de los recursos destinados a estas temáticas.
- **Acercando la nanotecnología a la ciudadanía.** Para asentar una línea multidisciplinar como la nanotecnología se debe asegurar la continuidad en la generación del conocimiento a mediano y largo plazo, lo cual requiere el diseño de planes adecuados de formación. Por otro lado se tiene que hacer participe a la sociedad tanto de los avances científicos como de los riesgos que siempre conllevan, de las soluciones que se proponen. Por esto es necesario incentivar la divulgación científica. En el caso de la formación, se puede afirmar que, en estos momentos, las universidades españolas ofrecen una buena oferta en el ámbito de la nanotecnología, con casi una veintena de cursos de maestría y doctorado. En relación con las actividades de divulgación, no existe hasta la fecha un plan específico dedicado a la nanotecnología. Sin embargo, han surgido algunas iniciativas aisladas que cuentan con el apoyo financiero, total o parcial, de algunas instituciones, entre las que destaca la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT, 2009). Entre estas iniciativas podemos destacar el Concurso internacional de imágenes de microscopía SPM (SPMAGE, 2009) que posteriormente ha permitido la publicación de una galería virtual y la preparación de una exposición itinerante. En la figura 5 se muestra la imagen ganadora de la edición del año

FIGURA 5. Imagen ganadora de la edición del año 2009 del concurso internacional SPMAGE, de imágenes obtenidas mediante microscopías de campo cercano (SPM). El autor es el Dr. Li Ang de la Universidad de Singapur. El título de la imagen es "Human malaria (*Plasmodium malariae*) infected red blood cells".



Fuente: (SPMAGE, 2009).

2009. En este apartado es obligado mencionar la publicación del primer libro de texto en lengua castellana sobre nanotecnología (Martín-Gago, 2008). Con esta iniciativa se pretende atraer a jóvenes estudiantes hacia las carreras universitarias de ciencias.

EL FUTURO: PROBLEMAS A LA VISTA Y POSIBLES SOLUCIONES

Se ha hecho un resumen del gran número de actuaciones que se están llevando a cabo en España para promover una investigación de calidad y competitiva internacionalmente en el ámbito de las nanotecnologías. Sin embargo, no todo es positivo y se detectan ciertos problemas que deben ser abordados para mantener el ritmo para lograr una eficiente implementación de las nanotecnologías tanto en el entorno académico como en el industrial. Los puntos siguientes especifican algunos de estos problemas y se mencionan las soluciones que ya se han propuesto (o que sería deseable proponer).

- **Una deficiente gestión de la ciencia.** Este es un problema que afecta al conjunto del sistema español de I+D+I. Aunque han aumentado mucho los recursos dedicados a investigación, los organismos encargados de la gestión de los mismo siguen regidos por normativa y protocolos poco eficientes. La manera en que se realiza la gestión de convocatorias, la selección y contratación de personal técnico o investigador, la compra de equipamiento, etc., debe mejorarse significativamente para no perder competitividad frente a otros países, que poseen mecanismos de gestión más ágiles y eficientes. Para propiciar un nuevo marco legal que permita la solución de estos problemas, el Ministerio de Ciencia e Innovación está preparando un importante cambio legislativo a finales del año 2009 (Ley Ciencia, 2009). Los efectos de este cambio se pondrán de manifiesto en tres o cuatro años.
- **¿Hay que dedicar más recursos a la investigación?** La crisis ha golpeado con dureza a la economía española, que creció a fuerte ritmo basándose en el desmesurado crecimiento de la construcción, la globalización de algunas empresas de servicios (esencialmente bancarios y de comunicaciones), y el mantenimiento de sectores tradicionales como el turismo o la fabricación de vehículos. Mientras tanto, el déficit de la balanza comercial de productos de alta tecnología no ha hecho más que aumentar en los últimos veinte años (COTEC, 2009). Es cierto que se necesita cambiar de modelo, pero con el contratiempo de tener que hacerlo en medio de una crisis. La apuesta debe ser clara: invertir en educación (en todos los niveles y modalidades), fomentar la investigación (básica y orientada) y su transferencia, e impulsar las infraestructuras relacionadas con las comunicaciones. ¿Cómo lograr todo esto en un momento de recortes presupuestarios? Ese es el gran reto, pero las actuaciones requerirán valentía y hacer cómplices a la ciudadanía mediante una buena información sobre las políticas que se pongan en marcha.
- **La falta de vocaciones científicas.** Es paradójico que en un momento en el que desde las diversas administraciones se promueve el asentamiento de nuevos centros de investigación en nanotecnología, las facultades de ciencias de las

distintas universidades ven disminuir progresivamente el número de alumnos matriculados. Corregir esta tendencia requiere de medidas más agresivas que las que se han tomando hasta ahora, pasando por una planificación de la formación en nanotecnología adaptada a todos los niveles educativos, como ocurre en Corea, Japón o Taiwán, países en los que se incorporan los contenidos de la nanotecnología ya en la educación primaria.

- **La falta de coordinación y dispersión de las infraestructuras.** La configuración política de España, con comunidades autónomas que poseen muchas competencias y recursos transferidos desde el gobierno central, junto con la autonomía de las universidades y centros públicos de investigación, ha generado un modelo de crecimiento en el que la coordinación de los centros emergentes no se ha tenido en cuenta. Es fundamental que los grupos de investigación compitan entre sí y con los de otros países pero garantizando el acceso de todos los grupos a infraestructuras de alto nivel que se sufragan con recursos públicos. Para lograr este acceso, es necesario hacer inventario de los equipamientos que se poseen (un mapa de infraestructuras), su grado de uso, determinar las prioridades de adquisición de nuevos equipos y su óptima ubicación, garantizar el acceso a los usuarios, planificar la adecuada formación de usuarios y técnicos, entre otros asuntos. Estos pasos sólo se pueden dar mediante una mínima planificación y coordinación entre las autoridades estatales y autonómicas.
- **La poca masa crítica de las empresas del sector nanotecnología.** Otro aspecto que merece la pena destacar es la escasa relevancia que aún tiene la nanotecnología en el ámbito industrial español. La mayor parte de las empresas españolas no son innovadoras (COTEC, 2009) y realizan poca inversión en I+D+I. Esta claro que una posible solución pasa por la creación de nuevas empresas de base tecnológica (NEBTS), muchas de las cuales serán empresas de tipo spin-off vinculadas a universidades y organismos públicos de investigación. Para aumentar el número de estas empresas, sería necesario potenciar su capitalización mediante el fomento de entidades de capital-riesgo, la participación pública en las mismas, las compras públicas de servicios y productos, las desgravaciones fiscales, etc. Además, no hay que olvidar que las empresas del sector de la nanotecnología deben acceder en condiciones ventajosas a grandes instalaciones de nanofabricación o caracterización que resultan excesivamente costosas para una empresa de nueva creación.
- **Internacionalización: Iberoamérica, la asignatura pendiente.** Es cierto que el papel relevante de España en ciencia se ha alcanzado en los últimos veinte años, y que carecemos de "tradición" científica si nos comparamos con EUA, Alemania, Reino Unido, Francia, etc. En este contexto, España necesita reforzar sus lazos científicos con comunidades de otros países. Se han dado grandes pasos en la dirección de mejorar nuestra interacción con los países de la Unión Europea, EUA, Canadá, y los países de extremo oriente. Sin embargo, salvo algunas iniciativas como el Programa CYTED o algunos convenios interuniversitarios, el papel de España en los países iberoamericanos no es tan importante como el que tiene Francia, por ejemplo. Para mejorar esta situación, se debe fomentar desde España el intercambio de investigadores (ya formados o en vías formación) con centros y universidades de Iberoamérica, incrementar la interacción entre re-

des de científicos, promover la firma de convenios de investigación en temas de interés conjunto, etc. Es en este contexto que la creación del Laboratorio Internacional Ibérico de Nanotecnología de Braga, puede ser un buen punto de apoyo para revitalizar la cooperación científica entre Portugal, España e Iberoamérica.

CONCLUSIONES

Este artículo resume las principales actuaciones que en este momento se están llevando a cabo en el ámbito de la nanociencia y la nanotecnología en España. Las iniciativas mostradas tienden a fomentar la investigación básica sin perder de vista la importancia de su transferencia al tejido productivo. Esta situación se alcanza, en parte, gracias a los dos últimos Planes Nacionales de Investigación, Desarrollo e Innovación en los que la nanociencia y la nanotecnología se han colocado como prioridades del gobierno, adquiriendo la categoría de acción estratégica. Asimismo, se ha promovido la creación de un conjunto de centros de investigación que estarán a pleno rendimiento en los próximos diez años. Además, se están haciendo grandes esfuerzos por facilitar la conexión de los grupos españoles con los del resto del mundo, a través de diferentes convenios bilaterales y la participación en los foros internacionales. En su conjunto, la inversión de recursos públicos para promover la nanociencia y la nanotecnología en España ha superado los 80 millones de euros en 2008, lo que refleja la importancia que este tema ha adquirido en los últimos años.

Todas las iniciativas que se han repasado en este artículo representan una apuesta clara para que España se sitúe a medio plazo entre el grupo de países que pueden liderar el cambio hacia una sociedad basada en el conocimiento. El reto a corto plazo es mantener el impulso inversor, a pesar de encontrarnos en plena crisis económica, y mejorar la coordinación de todos los agentes implicados en el proceso de I+D+I.

BIBLIOGRAFÍA

- APTE. 2009. Asociación de Parques Tecnológicos de España.
En: <http://www.apte.org>
- Baird, D., Nordmann, A. y Schummer, J. (eds.). 2004. *Discovering the nanoscale*, IOS Press, Amsterdam.
- Banco Mundial. 2007. *World development indicators database*, World Bank, Washington.
- Binnig, G. and Rohrer, H. 1987. "Scanning tunneling microscopy-from birth to adolescence", *Reviews of Modern Physics* 59, 615.
- Comisión Europea. 2004 A. *Converging technologies: Shaping the future of european societies*, Bruselas. Este documento está accesible en http://europa.eu.int/comm/research/conferences/2004/ntw/index_en.html.
- Comisión Europea. 2004 B. "Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías", *Comisión Europea, COM* (2004) 338.
- Comisión Europea. 2005. *Some figures about nanotechnology R&D in Europe and beyond*. Bruselas.
- COTEC. 2009. *Informe Cotec: tecnología e innovación en España, 2009*, Fundación COTEC, Madrid. Este informe se puede descargar de <http://www.cotec.es>

- Correia, A., Sáenz, J.J. y Serena, P.A. 2006. "El lento despertar de la Nanotecnología en España", *Revista Sistema Madri+d* 15, 3.
- Correia, A., Pérez, M., Sáenz, J.J. y Serena, P.A. 2007. "Nanoscience and nanotechnology: driving research and applications", *Phys. Stat. Sol. (RRL)* 1, A68-A72.
- Correia, A. y varios autores. 2008. *Nanociencia y nanotecnología en España: un análisis de la situación presente y de las perspectivas de futuro*, Fundación Phantoms, Madrid.
- Delgado, Gian Carlo. 2008. *Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*, CEICH, UNAM, México.
- Delgado, Gian Carlo. 2009. "Economía política de la nanotecnología", *Mundo Nano* 1, 87.
- Drexler, K.E. 1986. *Engines of creation. The coming era of nanotechnology*, Anchor Books, Nueva York.
- FECYT. 2009. Fundación Española de Ciencia y Tecnología. En: <http://www.fecyt.es>
- Feynman, Richard. 1960. "There's a plenty of a room at the bottom", *Engineering and Science* 23, 22. Una transcripción del discurso de R. Feynman puede encontrarse en <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>
- Fielder, F.A. y Reynolds, G.H. 1994. "Legal problems of nanotechnology: An overview", *Southern California Interdisc. Law J.*, 3, 593-629.
- Fontela, Emilo y varios autores. 2006. *Convergencia NBIC 2005. El desafío de la convergencia de las nuevas tecnologías (Nano-Bio-Info-Cogno)*, Fundación Escuela de Organización Industrial (EoI), Madrid.
- ICEX. 2009. Instituto Español de Comercio Exterior. En: <http://www.icex.es>
- Iijima, Sumio. 1991. "Helical micro-tubules of graphitic carbon", *Nature* 345, 56.
- Ingenio. 2005. Programa Ingenio 2010. En: <http://www.ingenio2010.es>
- ISI Thomson. 2008. *Essential science indicators* (<http://sciencewatch.com/>).
- Kleike, J.W. (ed.). 2009. *National nanotechnology initiative: Assessment and recommendations*, Nova Science Pub. Inc., Nueva York. Toda la información sobre las actividades de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de EUA. se puede encontrar en <http://www.nni.gov>.
- Ley Ciencia. 2009. Nueva Ley de la Ciencia y de la Investigación. En: <https://lcyt.fecyt.es/>
- Lux Research. 2008. *Nanomaterials state of the market Q1 2009: Cleanthc's dollar investments, penny returns*, Lux Research, Nueva York.
- Martín-Gago, J.A., Casero, E. Briones, C., y Serena, P.A. 2008. *Unidad Didáctica Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*, Fundación Española de Ciencia y Tecnología, Madrid. Este libro está disponible gratuitamente en: <http://www.fecyt.es>.
- Moore, Gordon. 1965. "Cramming more components onto integrated circuits", *Electronics* 38, 114.
- NanoSpain. 2009. Red Española de Nanotecnología. En: <http://www.nanospain.org>
- OPTI. 2008. *Aplicaciones industriales de las nanotecnologías en España en el horizonte 2020*, Fundación OPTI y Fundación INASMET-TECNALIA, Madrid. Dicho libro puede descargarse gratuitamente desde <http://www.opti.org>
- Phantoms. 2009. Fundación Phantoms. En: <http://www.phantomsnet.net>
- PNIDI. 2004. *Plan Nacional de I+D+I 2004-2007*. En: http://www.mec.es/ciencia/plan_idi
- PNIDI. 2008. *Plan Nacional de I+D+I 2008-2011*. En: <http://www.plannacionalidi.es>

- Roco, M.C. y Bainbridge, W.S. (eds.). 2001, *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, Kluwer Press, Boston (EUA) y Dordrecht (Holanda).
- Roco, M.C. y Bainbridge, W.S. (eds.). 2002. *Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and the cognitive science*, National Science Foundation, Arlington, Virginia.
- Roco, Mihail C. 2005. "International perspective on government nanotechnology funding in 2005", *J. Nanopart. Res.* 7, 707.
- Serena, P.A. (ed.). 2005. "Nanotechnology in Spain", *International Journal of Nanotechnology* 2, Special Issue.
- Serena, P.A. 2009 A. "The implementation of the Action Plan for Nanosciences and Nanotechnologies in Spain (2005-2007)", *E-Nano Newsletter*, 15, 14. La versión completa de este informe se encuentra también en <http://www.oemicinn.es/area5/area12>
- Serena, P.A. 2009 B. "A survey of public funding of nanotechnology in Spain over 2008". Informe del Ministerio de Ciencia e Innovación para la Comisión Europea. Se publicará en otoño de 2009 en la web <http://www.oemicinn.es/area5/area12>.
- Sweeney, A.E.; Seal, S. y Vaidyanathan, P. 2003. "The promises and perils of nanoscience and nanotechnology: Exploring emerging social and ethical issues", *Bulletin of Science, Technology & Society* 23, 236.
- Shatkin, Jo Anne. 2008. *Nanotechnology: Health and environmental risks (Perspectives in nanotechnology)*, CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton.
- SPMAGE. 2009. International Scanning Probe Microscope Image Prize. En: <http://www.icmm.csic.es/spmage>
- Taniguchi, Norio. 1974. "On the basic concept of 'nano-technology'", *Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II*, Japan Society of Precision Engineering.
- TNT. 2009. Serie de Conferencias *Trends in nanotechnology*. En: <http://www.tntconf.org>