

# Nanociencia y Nanotecnología en España

Un análisis de la situación presente y de las  
perspectivas de futuro

# Nanociencia y Nanotecnología en España

Un análisis de la situación presente y de las  
perspectivas de futuro

Financiado por



En colaboración con



Coordinado y Editado por

Red Española de Nanotecnología  
Spanish Nanotechnology Network

## Coordinador

**Antonio Correia** (Fundación Phantoms)

## Colaboradores

**Carmen Chacón** (Fundación Phantoms)

**Maite Fernández** (Fundación Phantoms)

**Concepción Narros** (Fundación Phantoms)

**Soraya Serrano** (Fundación Phantoms)

## Grupo de Expertos

**Pere Castell** – Nanotubos (Nanozar S.L., Zaragoza)

**Antonio Correia** – Nanotecnología (Coordinador Fundación Phantoms)

**José-Luis Costa-Krämer** – Nanoelectrónica & Electrónica Molecular  
(Instituto de Microelectrónica de Madrid – CSIC)

**Antonio García Martín** – Nanoóptica & Nanofotónica  
(Instituto de Microelectrónica de Madrid – CSIC)

**Wolfgang Maser** – Nanotubos (Nanozar S.L., Zaragoza)

**Javier Méndez** – Microscopías de Campo Cercano –SPM  
(Instituto de Ciencias Materiales de Madrid – CSIC, Madrid)

**Oscar Miguel Crespo** – Energía (CIDETEC, San Sebastián)

**Fernando Palacio** – Nanomateriales (Universidad de Zaragoza)

**José A. Pomposo** – Energía (CIDETEC, San Sebastián)

**Emilio Prieto** – Nanometrología (Centro Español de Metrología, Madrid)

**Juan José Sáenz** – Teoría, Modelado y Simulación  
(Universidad Autónoma de Madrid)

**Josep Samitier** – Nanobiología & Nanomedicina (Parque Científico de Barcelona)

**Pedro A. Serena** – Nanotecnología  
(Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid – CSIC, Madrid).

Edita: **Fundación Phantoms**

Diseño y maquetación: **Fundación Phantoms**

### Renuncia de Responsabilidad

La Fundación Phantoms ha ejercido la diligencia debida en la elaboración y reportaje de información contenida en este libro, obteniendo la información de fuentes fidedignas.

La Fundación Phantoms no se hace responsable, bajo ninguna circunstancia, de las opiniones emitidas y los datos presentados por sus colaboradores.

## Contenido

Presentación.....	5
Introducción.....	7
Nanociencia y Nanotecnología en España	
Energía.....	33
Microscopías de Campo Cercano.....	49
Nanobiología & Nanomedicina.....	61
Nanoelectrónica & Electrónica Molecular.....	79
Nanomateriales.....	97
Nanometrología.....	111
Nanoóptica & Nanofotónica.....	127
Nanotubos.....	137
Nanoquímica.....	153
Teoría, Modelado y Simulación en Nanociencia.....	167
Conclusiones.....	179
Anexo I: Listado miembros Red Española de Nanotecnología (NanoSpain).....	187
Anexo II: Financiaciones de Actividades de I + D.....	211
Anexo III: Congresos NanoSpain.....	219
Notas.....	227



## Presentación

El principal objetivo de este documento es presentar una visión global de la situación actual de las actividades en Nanociencia y Nanotecnología en España. Esta actividad ha requerido el esfuerzo de varios expertos que se han constituido en testigos de los movimientos que están sucediendo en cada una de las áreas temáticas consideradas: Energía, Nanobiología y Nanomedicina, Nanoelectrónica y Electrónica Molecular, Nanomateriales, Nanometrología, Nanoóptica y Nanofotónica, Nanotubos, Nanoquímica y Teoría, Modelado y Simulación.

Quiero agradecer al Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) la financiación otorgada a la Fundación Phantoms (Acción Complementaria: NAN2006-26554 E y D) en el marco de la Red Española de Nanotecnología "NanoSpain" que ha permitido el desarrollo de diferentes actividades y en particular la elaboración de este informe.

También quiero agradecer expresamente el apoyo recibido por los expertos que participaron en la elaboración de los capítulos de este informe, así como los distintos grupos miembros de la Red NanoSpain que han facilitado información.

Finalmente quiero felicitar a todas las personas de la Fundación Phantoms involucradas en la elaboración de este documento que, por su labor, han hecho posible su publicación.

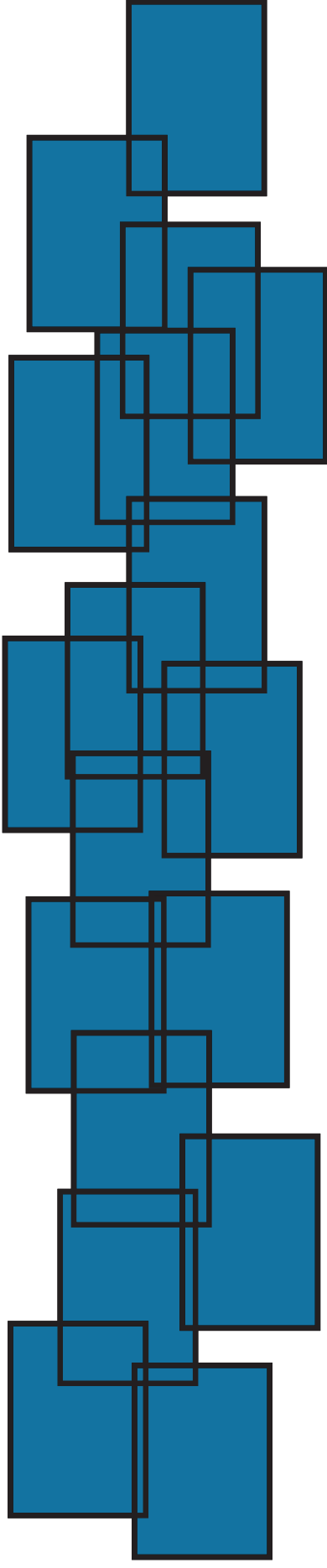
Espero que este libro constituya un instrumento útil que proporcione al lector información sobre el estado de la Nanociencia y Nanotecnología en nuestro país y sirva para planificar nuevas políticas científicas en el sistema español de ciencia y tecnología.

**Antonio Correia**

Presidente de la Fundación Phantoms



# INTRODUCCIÓN





## Antonio Correia

**Lugar y fecha de nacimiento:** París (Francia), 09 de febrero de 1966.

**Formación:** Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de París VII (Francia) en 1990. Doctorado tres años más tarde en esta misma Universidad.

**Carrera Profesional:** Realizó dos estancias post-doctorales en Francia (CNRS) y en España (CSIC) en sendos Institutos Nacionales de Investigación. Autor o coautor de más de 50 artículos científicos en revistas internacionales y editor invitado de varios libros.

En la actualidad, es fundador y presidente de la Fundación Phantoms, organización sin ánimo de lucro creada en Noviembre 2002 en Madrid, y coordinador de varias iniciativas en Nanociencia y Nanotecnología como la Acción Coordinada (EU/FET) nanoICT o las redes NanoSpain (Red Española de Nanotecnología) y M4nano (Modelling for Nanotechnology).



## Pedro A. Serena

**Lugar y fecha de nacimiento:** Madrid (España), 28 de julio de 1962

**Formación:** Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid (1985). Se doctoró en Física en la misma universidad (1990).

**Carrera Profesional:** Realizó una estancia post-doctoral en el Laboratorio de IBM en Zürich (1990-1991). De 1991 a 1997 trabajó en el Laboratorio de Física de Sistemas Pequeños y Nanotecnología del CSIC. Desde 1997 es miembro del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid del CSIC, donde actualmente tiene el cargo de Investigador y del que fue Vicedirector entre 2000 y 2003. Es coautor de más de 70 publicaciones en revistas internacionales.

Además es Experto en Acciones Estratégicas de la Comisión de Seguimiento del Plan Nacional (COSEP-FECYT-MEC), Colaborador de la Dirección General de Investigación del MEC en al Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología, y Miembro del Consejo Asesor Científico del Parque Científico de Madrid. También fue coordinador de la Red Nanociencia (1999-2004) y NanoSpain (2000-2005), así como coorganizador de la serie de conferencias Trends in Nanotechnology de 2000 a 2005. Desde 2008 es coordinador del Eje Nano del CSIC.

Entre sus líneas de actividad destacan el estudio de las propiedades eléctricas y mecánicas mediante simulaciones Monte Carlo, de Dinámica Molecular, Tight-Binding, etc. de diversos sistemas nanométricos (nanohilos metálicos, cápsidas víricas, etc.). También ha realizado diversas actividades relacionadas con la divulgación científica.





## INTRODUCCIÓN

### Una fotografía de la Nanociencia y Nanotecnología en España

#### 1. El impacto de la “explosión” nanotecnológica

En esta última década hemos asistido a la irrupción de la Nanociencia y la Nanotecnología como áreas punteras de investigación que se están desarrollando tanto en los países más avanzados como en aquellos con economías emergentes [1-4]. La Nanotecnología no sólo es una línea de investigación con un gran porvenir sino que ha comenzado a proporcionar sus primeras aplicaciones comerciales en muchos sectores (electrónica, automoción, material deportivo, cosmética, etc.). De forma simultánea, la Nanotecnología se ha convertido en un tema de gran repercusión mediática que, en cierta medida, refleja la fascinación que provoca la capacidad de controlar la forma y composición de la materia a escala atómica y molecular, usando técnicas y aproximaciones muy diversas. Este control es el que permite acceder a nuevas propiedades que sólo se manifiestan a escala nanométrica (la nanoescala) o moldear a voluntad las ya conocidas, logrando con ello la síntesis de nuevos materiales con propiedades a medida y la fabricación de diminutos dispositivos.

La fuerza con la que ha emergido la Nanotecnología se debe a la conjunción de diversos factores: (i) el avance de la ciencia y la tecnología, que a lo largo del siglo XX ha logrado paulatinamente entender y controlar las propiedades de la materia a escalas cada vez más pequeñas, evolucionando desde las que podríamos denominar “microtecnologías” hasta las “nanotecnologías”; (ii) la necesidad de establecer nuevos paradigmas científico-tecnológicos en el ámbito de la industria de la electrónica, buscando una anticipación al final de la era del silicio para permitir ahondar en la revolución digital que ha cambiado gran parte de nuestra sociedad en los últimos treinta años; (iii) la necesidad de establecer mecanismos de producción industrial más competitivos basados en el dominio absoluto de la materia de forma que permita a los países más desarrollados soportar el envite de las economías emergentes; (iv) el necesario desarrollo de nuevos mecanismos de alerta y seguridad que permitan automatizar procesos peligrosos, anular nuevas amenazas terroristas, etc.; y (v) ser capaces de diseñar y fabricar nuevos materiales, establecer nuevos medios de producción y sistemas de control, que contribuyan a la implantación de modelos económicos más sostenibles en medio de la preocupación generalizada ante nuevas situaciones como el cambio climático. Todos estos factores, junto con otros que se podrían mencionar, han hecho que la Nanociencia y Nanotecnología se acepten e incentiven con cierta esperanza por parte de la sociedad, recibiendo de forma generalizada el respaldo financiero de los sectores público y privado en todo el mundo. Basta señalar que en el periodo 1997-2005 la inversión global en I+D en Nanotecnología creció de 432 M\$ a 4200 M\$ [5]. Este esfuerzo es equiparable a las inversiones en Genética y Genómica realizadas durante la década de 1990.

El inicio de la apuesta inversora por la Nanotecnología se originó en 1996 en los EE.UU., cuando varias agencias federales lanzaron la Iniciativa Nacional en Nanotecnología (NNI, National Nanotechnology Initiative) [6]. Dicha iniciativa ha aportado en el periodo 1997-2003 más de 7500 M\$. Además de estas cifras hay que considerar la inversión de los distintos Estados, y la fortísima inversión privada de las empresas norteamericanas ligadas a la telefonía, microelectrónica, aeronáutica, química y biotecnología. Siguiendo la estela de los EE.UU. Japón ha invertido durante el periodo 1997-2003 incluso más recursos que EE.UU. en Nanotecnología,



focalizándose en electrónica y materiales. Taiwán, Corea y China también han efectuado inversiones millonarias.

Por su parte la Unión Europea ha fomentado la Nanotecnología con ímpetu [7] tanto en el VI [8,9] como en el VII Programas Marco [10-12] a través de diversas iniciativas. Entre estas iniciativas podemos destacar la creación de un área temática específica, "Nanociencias, Nanotecnologías, Materiales y Nuevas Técnicas de Producción" (NMP) [8], la asignación de recursos en otras áreas relacionadas con las TIC [9], el Transporte, la Energía y la Salud, la creación de Plataformas Tecnológicas [12], como la de Nanoelectrónica (ENIAC) o la de Nanomedicina (NanoMED), el fomento de la investigación en nanoecotoxicología [13], y el fomento de estudios sobre la convergencia tecnológica de la Nanotecnología con otras áreas de investigación [14]. Además de estos esfuerzos desde la UE, hay que destacar las fuertes inversiones realizadas por los gobiernos europeos, destacando las de Alemania, Francia y Reino Unido. Finalmente, el "boom" científico de la Nanotecnología en Europa ha dado lugar a la creación, en menos de 10 años, de casi 200 redes regionales o nacionales en el continente.

Todos los esfuerzos inversores quedan reflejados en la Tabla 1 (basada en datos de la Ref. [15]). Como puede observarse, la financiación de la Nanotecnología ha sufrido un aumento exponencial en EE.UU., la Unión Europea y Japón. En estas regiones la Nanotecnología se entiende como elemento clave que permitirá mantener a medio y largo plazo la competitividad de algunos de sus sectores industriales. A dicho esfuerzo se ha sumado en los últimos años China, mediante la creación de grandes centros de investigación que dan soporte a las industrias instaladas en las regiones donde la economía de mercado se abre paso de forma planificada. Este hecho indica que las autoridades del gigante asiático no desean que su única baza competitiva resida en los bajos costes laborales. También hay que mencionar, aunque no figure en los datos mostrados en la Tabla 1, que una parte muy importante de la inversión proviene del sector privado, lo que constituye un claro indicador de las expectativas puestas en la Nanotecnología como creadora de riqueza a medio plazo.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>Europa</b>	126	151	179	200	225	400	650	950 <sup>4</sup>	1050 <sup>4</sup>	-	-
<b>Japón</b>	120	135	157	245	465	750	810 <sup>3</sup>	875 <sup>4</sup>	950 <sup>4</sup>	-	-
<b>EE.UU.<sup>1</sup></b>	116	190	255	270	422	604	862	989 <sup>4</sup>	1200 <sup>4</sup>	1351 <sup>5</sup>	1392 <sup>5</sup>
<b>Otros países<sup>2</sup></b>	70	83	96	110	380	520	511 <sup>3</sup>	900 <sup>4</sup>	1000 <sup>4</sup>	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>432</b>	<b>559</b>	<b>687</b>	<b>825</b>	<b>1502</b>	<b>2274</b>	<b>2833</b>	<b>3714</b>	<b>4200</b>	-	-

<sup>1</sup> No incluye las iniciativas de los distintos Estados

<sup>2</sup> Australia, Corea, Canadá, Taiwan, R.P. China, Rusia, Singapur, Europa del Este

<sup>3</sup> Fuente: EU Ref. [7]

<sup>4</sup> Fuente: National Science Foundation (USA)

<sup>5</sup> Fuente: Ref. [16]

Tabla 1. Financiación de la Nanotecnología (M\$/año) en todo el mundo durante el periodo 1997-2007. Esta tabla está basada fundamentalmente en los datos extraídos de la Ref. [15] junto con datos de otras fuentes

No cabe duda que otro punto que ha incentivado la financiación y la expansión de la Nanotecnología es su carácter transversal, multidisciplinar, lo que le permite converger con otras áreas de investigación. Esta convergencia es más evidente con las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC), con la Biotecnología y con la

Ciencia de Materiales. Este carácter multidisciplinar hace de la Nanotecnología una rama científico-técnica costosa, que requiere grandes inversiones económicas para construir y equipar centros donde coexistan líneas con requerimientos de infraestructuras muy diversos. Hay otro punto que se debe mencionar, y es el relacionado con la necesidad de disponer de personal cualificado capaz de moverse en entornos multidisciplinarios. Dicho personal deberá ser formado en el contexto de unos novedosos planes de estudio que completen y superen la super-especialización de los estudios universitarios convencionales. Estos condicionantes implican que una decidida apuesta por la Nanotecnología deberá ser, forzosamente, costosa.

La Nanotecnología está en la prehistoria desde el punto de vista de su desarrollo. Aunque hay algunos bienes de consumo que ya incorporan algún componente de origen nanotecnológico o se usa el reclamo "nano" como marca publicitaria, todavía estamos lejos de los grandes desarrollos que todos esperamos. Dicha revolución tecnológica se basa esencialmente en un cambio de paradigma en cuanto a la fabricación y elaboración de bienes. Las dos aproximaciones a la fabricación en el ámbito de la Nanotecnología son la "top-down" (de arriba a abajo) y la "bottom-up" (de abajo hacia arriba) [17] (ver esquema de la Figura 1a). Mientras que la primera se basa en métodos en los que se busca lo pequeño a partir de lo grande, táctica usualmente empleada ya en las industrias, la segunda aproximación, la verdaderamente revolucionaria es la que busca crear complejidad a partir de elementos funcionales atómicos y moleculares, acercándose a un modo de proceder similar al que la vida ha ido perfeccionando en la Tierra durante los últimos tres mil setecientos millones de años. En esta primera etapa, de incorporación de las Nanotecnologías que estamos viviendo en estos momentos, predominan las técnicas "top-down", que seguramente sobrevivirán aún un largo tiempo. La llegada de las técnicas "bottom-up" requerirá más esfuerzo en investigación básica, y se necesitarán dos o tres décadas más para que existan productos elaborados mediante metodologías "bottom-up" en el mercado (Figura 1b).

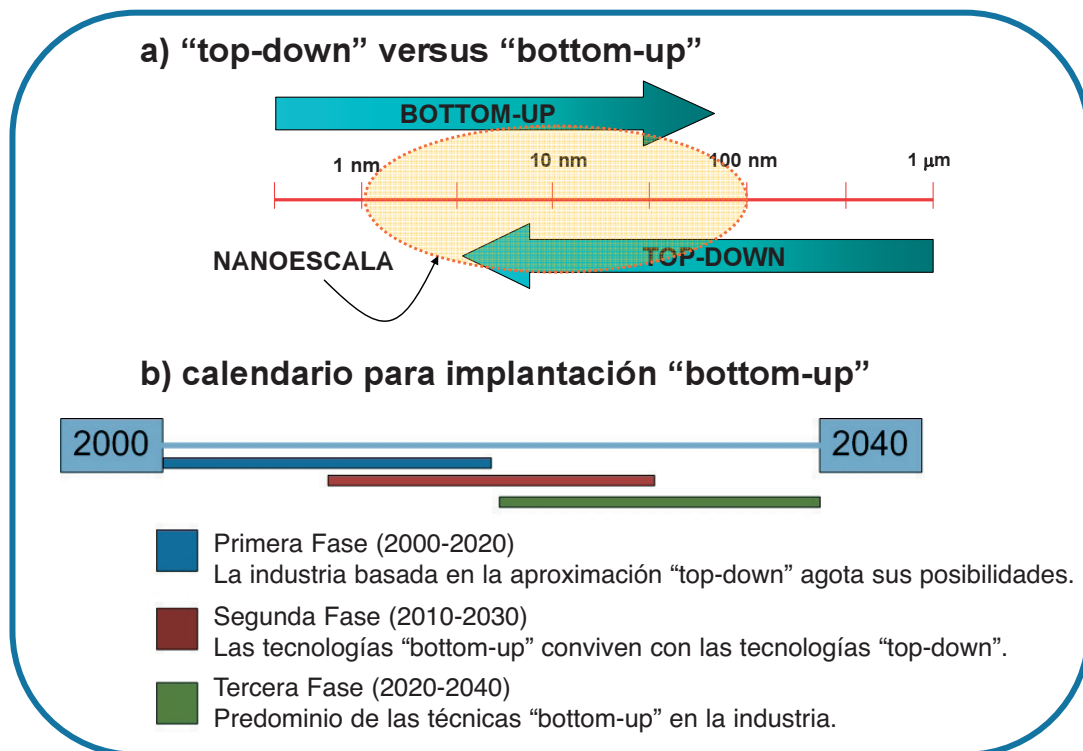
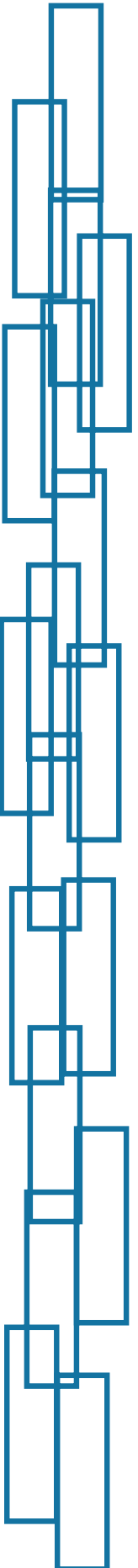


Figura 1. a) Esquema ilustrando el concepto de nanoescala, y el rango de trabajo de los métodos "top-down" y "bottom-up". b) Etapas de implantación de las metodologías "bottom-up" en los procesos de fabricación



Durante esta fase exploratoria que vamos a recorrer en los próximos años se puede afirmar que por cada solución de tipo "top-down" que ya existe, van a emerger varias posibles soluciones de tipo "bottom-up". La mejor metodología "bottom-up" que se aplique industrialmente se seleccionará atendiendo al interés económico (muchas veces lejano del interés científico) definido por los costes de fabricación y la capacidad de la metodología "bottom-up" para adaptarse a los procesos de integración nano-micro-macro de dispositivos y componentes en los productos finales. Además existirán criterios de selección de las técnicas más adecuadas definidos por temas de normativa y seguridad.

Sea cual sea el calendario de desarrollo de la Nanotecnología, de lo que no hay duda es que su carácter transversal y multidisciplinar va a conducir a un fuerte impacto en la sociedad, debido a sus múltiples frentes de aplicación. Cuando se habla del impacto social de las Nanotecnologías [18] se alude a su enorme capacidad para generar materiales, dispositivos e instrumentos que introducirán cambios en procesos de fabricación y en nuestra vida cotidiana. Los sectores que se verán más afectados por la irrupción de las Nanotecnologías serán la industria en general, la medicina, seguridad y defensa, producción y almacenamiento de energía, gestión medioambiental, transporte, comunicaciones, electrónica, educación y ocio. La lista exhaustiva de las aplicaciones que se pueden vislumbrar en cada sector que se ha mencionado es demasiado larga para ser incluida en este informe y ya hay diversos estudios donde se puede acceder a esa información [2,3,18]. Sin embargo es adecuado ilustrar de forma gráfica el enorme potencial de aplicaciones de la Nanotecnología. Este potencial se muestra de forma esquemática en la Figura 2, construido a partir de información obtenida de otro informe [19] y añadiendo algunos elementos nuevos.

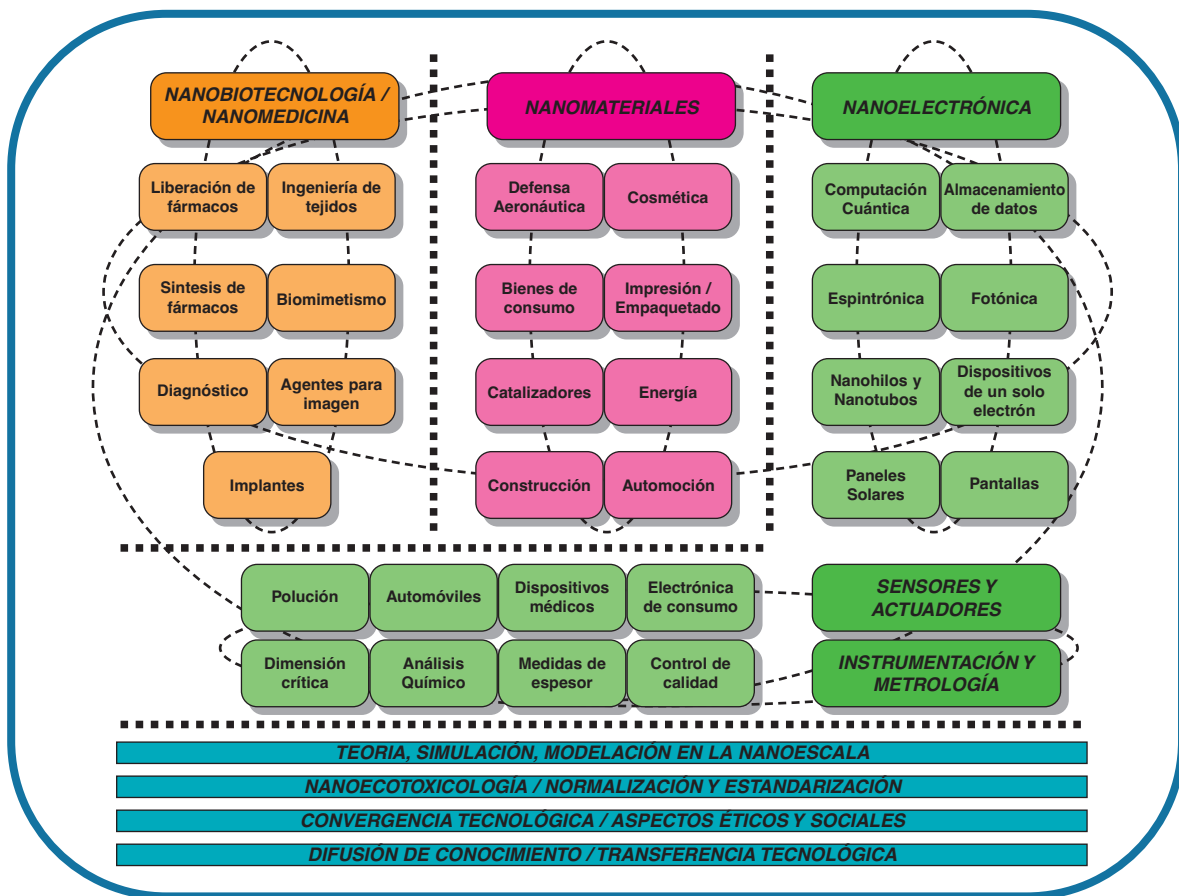


Figura 2. Áreas de aplicación de la Nanotecnología (basada en información de la Ref. [19])

Esta gráfica ilustra que, dada la fuerte convergencia de la Nanotecnología con las áreas de la Electrónica, la Biotecnología y de los Materiales, son las áreas de la Nanoelectrónica, la Nanobiología, y los Nanomateriales las más importantes. Además, en estrecha vinculación con la Nanoelectrónica, aparecen otras grandes áreas de aplicación de tipo transversal como son las de Actuadores y Sensores, e Instrumentación y Metrología. En cada área principal aparecen diversas sub-áreas de aplicación. En la parte inferior se muestran tópicos transversales que afectan a todo el conjunto de áreas y que deben ser tenidos en cuenta por su importancia. Es evidente que esta división es arbitraria y pueden darse diversas maneras de estudiar las aplicaciones de la Nanotecnología. En el presente estudio se incluyen informes sectoriales de acuerdo a una división diferente de las actividades científico-técnicas que se desarrollan por parte de los miembros de NanoSpain. En concreto se ha abordado la división temática que se muestra en la Figura 3.

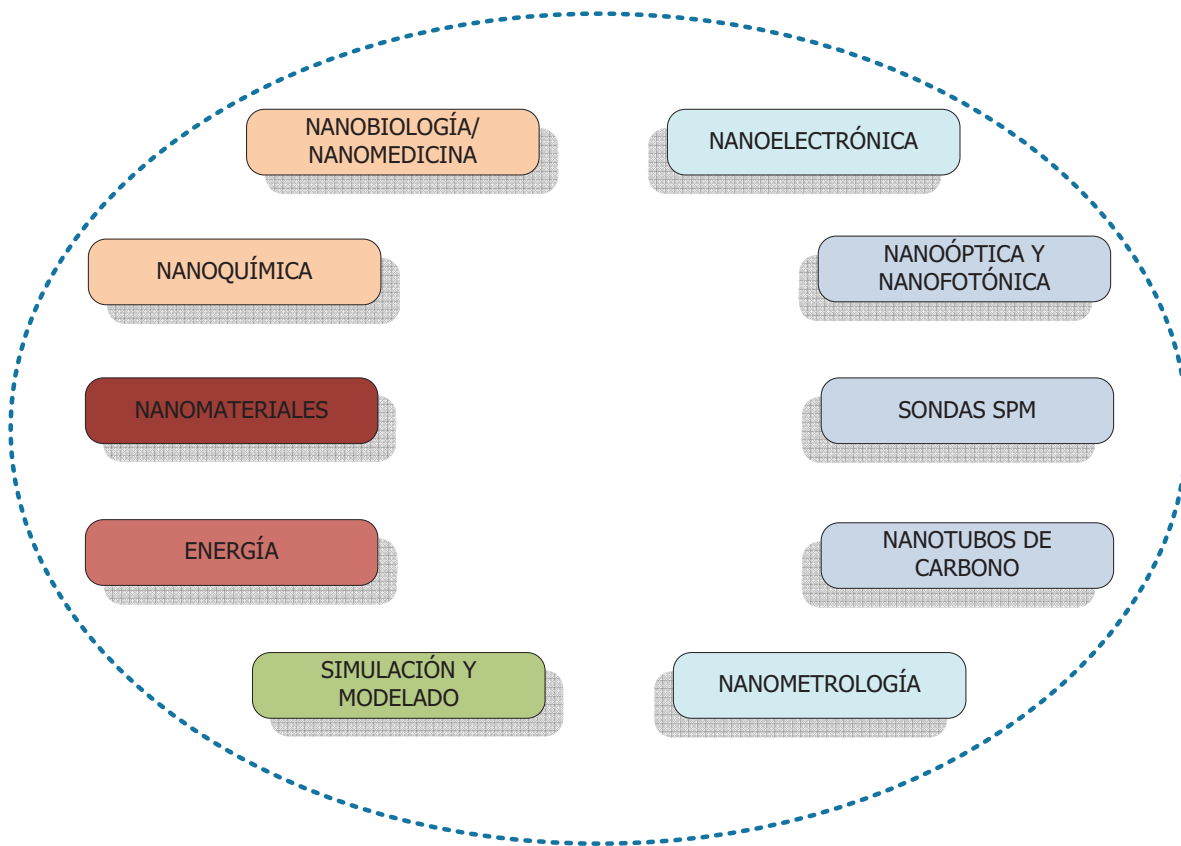


Figura 3. Áreas científico-técnicas de investigación en Nanotecnología descritas en este informe

Como se puede observar, las áreas principales mostradas en la Figura 2 estarán representadas en este informe (con la excepción del área de Sensores y Actuadores). Por otro lado se observa que, con la división dada en la Figura 3, se ha dado un mayor peso a algunas de las sub-áreas mostradas en la Figura 2. Esto es así tanto por la especial relevancia que tienen para la comunidad científica española como por la composición de la Red NanoSpain. En las secciones siguientes a esta introducción se describen algunas de las acciones que dicha comunidad científica ha llevado a cabo para fomentar la Nanotecnología y que permiten entender la situación actual de la Nanotecnología en España, que es el principal objetivo de este informe. A continuación describiremos la actividad de NanoSpain, que ha sido uno de los principales actores para impulsar el tema "nano" en este país.



## 2. El papel de la Red NanoSpain como promotora de la Nanociencia y la Nanotecnología en España

La Red NanoSpain, no es una red al estilo de las que hasta ahora se han planteado en España, bien se hayan autofinanciado o bien hayan sido financiadas por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC). NanoSpain es una iniciativa de carácter mucho más ambicioso, a imagen de las iniciativas que se siguen en EE.UU. o en Europa (Redes de Excelencia o Acciones Coordinadas [20, 21]). De hecho, persigue unos objetivos ambiciosos que van más allá de los encomendados a una Red convencional y que tienen como fin el fortalecimiento de la dimensión de la NanoCiencia y Nanotecnología española en el Espacio Europeo de investigación e innovación.

A finales de 2007 la Red NanoSpain la integran **234 grupos de investigación y empresas con más de 1500 investigadores.**



Figura 4. Relación de grupos de NanoSpain por comunidad autónoma

En el Anexo 1 se detallan los nombres de los grupos de investigación que componen la Red, indicando en cada caso el investigador responsable o de contacto en cada grupo. En España, pocas iniciativas y redes cuentan con un número tan elevado de grupos participantes, lo que demuestra dos cosas: la masa crítica que existe en este campo y la iniciativa de los científicos-tecnólogos para coordinarse e intercambiar información.

En la actualidad, el Comité Científico de la Red NanoSpain se compone de los siguientes investigadores, cada uno experto en una de las áreas de interés de dicha iniciativa:

Nombre	Institución	Área de Especialización
Sabino Azcarate	Tecniker	NEMS - MENS
Jaime Colchero	Universidad de Murcia	SPM
Pedro Echenique	Donostia International Physics Center (DIPC)	Modelling
Javier Méndez	Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-CSIC	SPM
Rodolfo Miranda	Universidad Autónoma de Madrid	Nanomateriales
José Luis Viviente	Fundación INASMET	Nanomateriales
Pablo Ordejón	Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona-CSIC	Modelling
Fernando Palacio	Universidad de Zaragoza	Nanomagnetismo
José M <sup>a</sup> Pitarke	CIC nanoGUNE Consolider	Teoría, Nanomateriales
Emilio Prieto	Centro Español de Metrología	Nanometrología
José Rivas	Universidad de Santiago de Compostela	Nanomateriales
Juan José Sáenz	Universidad Autónoma de Madrid	Teoría y Nanofotónica
Josep Samitier	Parque Científico de Barcelona	Nanobiología y Nanomedicina
Conchita Solans	Instituto de Investigaciones Químicas	Nanoquímica
Jaume Veciana	Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona- CSIC	Nanoquímica

La Red está coordinada por:

- Antonio Correia (Fundación Phantoms) / E-mail: [antonio@phantomsnet.net](mailto:antonio@phantomsnet.net)
- Fernando Briones (CNM-CSIC) / E-mail: [briones@cnm.imm.csic.es](mailto:briones@cnm.imm.csic.es)

El principal objetivo de la Red NanoSpain, gestionada por la Fundación Phantoms [22], es facilitar el intercambio y la transferencia de conocimientos entre los grupos de los distintos agentes del sistema de ciencia-tecnología-empresa, de manera que se fomente la cooperación entre ellos. De esta forma se propicia la creación de nuevas redes de excelencia, plataformas tecnológicas, proyectos de investigación pluridisciplinarios y se mejora la coordinación entre las infraestructuras científico-tecnológicas, así como la vertebración de las comunidades científicas de cara al Espacio Europeo de Investigación. Este objetivo general, por lo tanto, se puede alcanzar con la consecución de los siguientes objetivos parciales:

- Contribuir a la generación de conocimiento en las distintas áreas de la Nanociencia / Nanotecnología.
- Potenciar la visibilidad y la comunicación de los avances de la Nanotecnología en España.
- Fomentar la creación de grupos de I+D multidisciplinares.
- Favorecer la integración de los grupos de I+D españoles en los proyectos Europeos del VII Programa Marco de la U.E.
- Establecer un nexo entre todos los miembros a través de un sitio WEB dinámico, de permanente actualización [23].
- Conectar con otras iniciativas internacionales, regionales o nacionales [24], como las recientes plataformas tecnológicas.
- Participar en eventos científico-técnicos a nivel nacional. La Red colabora en la organización del evento anual "NanoSpain" del cual el principal organizador es la Fundación Phantoms [25].
- Formar grupos de trabajo según temáticas y afinidades.
- Organizar reuniones de cada uno de los grupos temáticos.
- Fomentar nuevas iniciativas (sub-redes, etc.).
- Atraer nuevos laboratorios de empresas y Organismos Públicos a esos grupos de trabajo (Red abierta).
- Elaborar informes por áreas/grupos que sirvan de base para acciones posteriores (como el diseño del Plan Nacional del Ministerio de Educación y





Ciencia, de otros planes regionales de I+D+i, mapas de infraestructuras, etc.) [26].

- Divulgar la Nanotecnología contactando con medios de comunicación. Mejorar la comunicación a la sociedad de los avances que se vayan produciendo en las distintas áreas de la Nanociencia / Nanotecnología.
- Atraer a empresas para su mejor integración en esta nueva área e informarlas de lo que representa para su futuro la Nanotecnología.
- Incrementar la participación de las empresas en las actividades de I+D+I.

### 3. La Nanociencia y la Nanotecnología dentro de los Planes Nacionales de I+D+i

Como ya se ha mencionado anteriormente, una de las actuaciones de más calado por parte de la Red NanoSpain fue la elaboración, a mediados de 2003, de un documento que permitió que el Plan Nacional de I+D+i (PNIDI) 2004-2007 [27] incluyese la Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología (AENCNT). La AENCNT se articulaba en torno a una serie de objetivos temáticos que se recogen en la tabla siguiente.

OBJETIVO	TEMA	ACRÓNIMO
1	Fenómenos fundamentales.	FF
2	Biotecnología, biomedicina y agroalimentación.	BIOMED
3	Energía y medioambiente.	EMA
4	Almacenamiento magnético de información, magnetoelectrónica.	MAG
5	Nanoelectrónica y electrónica molecular, optoelectrónica y fotónica, nanoestructuras semiconductoras.	ELEFOT
6	Dispositivos y máquinas nanométricas, nanomanipulación, nanocaracterización.	MANIP
7	Materiales nanocompuestos.	COMPOS

Tabla 2. Objetivos temáticos dentro de la AENCNT del PN I+D+i 2004-2007

A fecha de hoy la AENCNT ha estado presente en los Planes de Trabajo (PT) de las convocatorias de los años 2004, 2005, 2006 y 2007. En dichas convocatorias se establecieron diferentes formas de participación: proyectos de I+D, acciones complementarias, infraestructuras, proyectos vinculados a Parques Científicos y Tecnológicos, etc. En la Tabla 3 se muestra el esfuerzo inversor hecho en la AENCNT desde diversas unidades gestoras en distintos Ministerios dentro del PNIDI 2004-2007 en el periodo 2004-2006. En conjunto se han aprobado 250 actuaciones diferentes. La cantidad destinada a anticipos reembolsables (dirigidos a empresas) ha ascendido a 17,5 M€ mientras que la cuantía total destinada a subvenciones fue de 15,2 M€.

En todo este esfuerzo no se contemplan las inversiones en Nanotecnología efectuadas dentro del marco del Plan Ingenio 2010 [28,29], que incluyen las actuaciones efectuadas dentro de los programas Consolider, CIBER y CENIT. Asimismo el esfuerzo efectuado por las Comunidades Autónomas (CC.AA.) es una variable desconocida debido a la descoordinación existente hasta ahora entre las unidades gestoras de la Administración General del Estado (AGE) y las consejerías de las CC.AA. Finalmente, la inversión directa en Nanotecnología por parte del sector privado es, igualmente, una cantidad muy difícil de evaluar. Extrapolando lo que ocurre en el conjunto del sistema de I+D+i, se puede estimar que en estos momentos la inversión total anual *per cápita* en Nanotecnología es cercana a 1,3-1,5 €, de los que 0,9-1,1€

corresponden a gasto público. Estas cantidades nos alejan bastante de lo que ocurre en otros países de nuestro entorno y nos relega a los últimos puestos dentro de la UE [30], situación que no debería ocurrir en un país que es la octava economía mundial por su Producto Interior Bruto [31].

AÑO	ACTUACIONES APROBADAS	SUBVENCIÓN CONCEDIDA (k€)	ANTICIPOS REEMBOLSABLES (k€)
2004	37	11.700	0
2005	180	821	7.453
2006	33	2.676	10.044
<b>TOTAL</b>	<b>250</b>	<b>15.197</b>	<b>17.497</b>

Fuente: Dirección General de Investigación del MEC y Sistema de Seguimiento y Evaluación (SISE) del Plan Nacional [29]

Tabla 3. Esfuerzo económico en la AENCNT dentro del PNIDI 2004-2007

Si estudiamos con más detalle el esfuerzo inversor efectuado, encontramos que únicamente ha habido una convocatoria (publicada en 2004) de proyectos de I+D a la que pudieron acceder los grupos de investigación de instituciones públicas y privadas sin ánimo de lucro. Dicha convocatoria distribuyó cerca de 11,7 M€ entre los 23 proyectos seleccionados. En la Tabla 4 se muestra el número de grupos presentados a dicha convocatoria dentro de cada objetivo temático, indicando también el número de grupos cuyo proyecto o subproyecto fue aprobado. El dato más impactante es que 568 grupos de investigación se presentaron a la convocatoria, lo que indica el potencial existente en las Nanotecnologías. En segundo lugar, hay que destacar que las tres áreas en las que se presentaron más propuestas fueron las relacionadas con Biotecnología-Medicina, con Materiales Compuestos y Energía-Medio Ambiente. Este dato revela nuevamente el carácter multidisciplinar del tópico y que nos encontramos ante una concepción amplia e inclusiva de la Nanotecnología. Éstas temáticas están prácticamente de acuerdo con las encontradas en los proyectos de tipo "nano" aprobados en las convocatorias de consorcios CENIT dentro del Programa Ingenio 2010.

OBJETIVOS	Grupos de investigación solicitantes	Grupos de investigación subvencionados.	Tasa de éxito (%)
<b>FF</b>	72	6	8,3
<b>BIOMED</b>	136	32	23,5
<b>EMA</b>	92	18	19,6
<b>MAG</b>	29	3	10,3
<b>ELEFOT</b>	84	17	20,2
<b>MANIP</b>	40	10	25,0
<b>COMPOS</b>	115	7	6,1
<b>Totales</b>	<b>568</b>	<b>93</b>	<b>16,4</b>

Fuente: Dirección General de Investigación del MEC y Sistema de Seguimiento y Evaluación (SISE) del Plan Nacional [29]

Tabla 4. Proyectos presentados y aprobados en la convocatoria 2004 de la AENCNT

Como puede verse en la misma tabla la tasa de éxito (porcentaje de proyectos aprobados con respecto a los proyectos presentados) fue del 16,4%, un número muy bajo. Esta falta de recursos ante el aluvión de peticiones ha generado cierta frustración entre la comunidad científica, que se ha acentuado ante la ausencia de posteriores convocatorias de proyectos de I+D. Como consecuencia positiva de la AENCNT se puede decir que ésta ha servido para poner de manifiesto ante las entidades gestoras del PNIDI el enorme potencial de los grupos de investigación españoles, y ha permitido identificar el grado de cobertura de las diferentes áreas de investigación.

Profundizando un poco más en la convocatoria de proyectos de I+D y en el perfil de los proyectos presentados, podemos establecer la distribución de los mismos por Comunidades Autónomas, lo que permite conocer el potencial de cada una de ellas en las diferentes áreas. La Tabla 5 muestra dicha distribución por CC.AA. y por objetivos temáticos. En esta tabla se puede distinguir con claridad como la Comunidad de Madrid y Cataluña son las CC. AA. que acaparan algo más del 50% de los grupos interesados en desarrollar investigaciones en Nanotecnología, seguidas del País Vasco y de la Comunidad Valenciana. Además se puede ver el potencial de las distintas CC.AA. en cada uno de los objetivos temáticos, observándose como la Comunidad de Madrid y Cataluña siempre ocupan las dos primeras posiciones en cada objetivo. La Comunidad de Madrid y Cataluña muestran tener un potencial similar en los objetivos 1 (FF), 5 (ELEFOT), y 7 (COMPOS). El potencial de Cataluña es superior en lo que se refiere al objetivo 2 (BIOMED). En el resto de los objetivos, la Comunidad de Madrid tiene una posición predominante. Estos datos son de interés de cara a la planificación estratégica y la preparación de actuaciones futuras en el ámbito de la Nanociencia y la Nanotecnología por parte de los gestores del PNIDI.

OBJETIVO TEMÁTICO									
Com. Aut.	FF	BIOMED	EMA	MAG	ELEFOT	MANIP	COMPOS	TOTAL	%
Andalucía	5	10	10	0	3	1	12	41	7,22
Aragón	3	11	1	0	0	3	2	20	3,52
Asturias	5	2	6	1	0	0	5	19	3,35
Baleares	1	0	0	0	1	0	0	2	0,35
Canarias	2	0	2	0	2	0	3	9	1,58
Cantabria	1	1	3	0	0	2	0	7	1,23
Cataluña	20	37	17	5	23	10	22	134	23,59
Castilla León	2	0	3	2	6	0	6	19	3,35
Castilla La Mancha	0	0	1	2	2	1	1	7	1,23
Extremadura	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Galicia	3	12	6	0	4	1	2	28	4,93
La Rioja	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Madrid	19	29	31	13	22	17	24	155	27,29
Murcia	1	2	1	0	0	1	0	5	0,88
Navarra	0	3	0	1	0	0	2	6	1,06
País Vasco	7	16	8	3	3	3	20	60	10,56
Valencia	3	13	3	2	18	1	16	56	9,86
Ceuta y Melilla	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
<b>España</b>	<b>72</b>	<b>136</b>	<b>92</b>	<b>29</b>	<b>84</b>	<b>40</b>	<b>115</b>	<b>568</b>	<b>100,0</b>

Tabla 5. Proyectos presentados en la convocatoria 2004 de la AENCNT por objetivos y CC.AA.

En relación con las futuras actuaciones de la AGE tendentes a financiar la Nanotecnología hay que destacar que en enero de 2008 ha comenzado el nuevo Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 que define un nuevo contexto, radicalmente diferente del que hasta ahora existía [32]. El nuevo PNIDI intenta reconducir al sistema de I+D+i, una vez que éste ha alcanzado cierta madurez y masa crítica, y ahora necesita afrontar nuevos retos que surgen de los nuevos contextos nacional e internacional. El nuevo PNIDI se plantea como una oportunidad para cambiar de un enfoque temático a un enfoque instrumental. Los objetivos generales del PNIDI 2008-2011 son: (i) situar a España en la vanguardia del conocimiento; (ii) promover un tejido empresarial altamente competitivo; (iii) desarrollar una política integral de ciencia, tecnología e innovación, imbricando a los ámbitos regionales en el sistema de ciencia y tecnología; (iv) avanzar en la dimensión internacional como base para el salto cualitativo del sistema; (v) conseguir un entorno favorable a la inversión en I+D+i; y (vi) fomentar la cultura científica y tecnológica de la sociedad.

Desde el punto de vista operativo, desaparecen los Programas Nacionales tal y como se concebían hasta ahora (un extensísimo catálogo de líneas de investigación) y se enfatiza la definición de instrumentos conducentes a minimizar el número de convocatorias y agilizar su gestión. Aparecen también otros instrumentos, las Acciones Estratégicas, que permiten focalizar esfuerzos y recursos con el fin de poner en valor las investigaciones realizadas, así como su valorización y transformación en procesos, productos y servicios para la sociedad. Una de las Acciones Estratégicas es la correspondiente a "Nanociencias y Nanotecnologías, Nuevos Materiales y Nuevos Procesos Industriales". Esta Acción Estratégica se estructura en siete líneas científico-técnicas que se muestran en la Tabla 6. Es muy importante mencionar que la nueva Acción Estratégica tiene poco que ver con la anterior Acción Estratégica en cuanto a concepto, diseño, capacidad de financiación y de gestión.

Vinculadas a esta nueva Acción Estratégica existen varias líneas instrumentales (Recursos Humanos, Proyectos, Fortalecimiento Institucional, Infraestructuras, Utilización del Conocimiento y Articulación e Internacionalización del Sistema) con sus correspondientes instrumentos, así como indicadores de seguimiento que permitirán conocer el desarrollo e impacto de todas las actuaciones. De esta forma la nueva Acción Estratégica se presenta como una entidad con vida propia, con más recursos y más frentes que cubrir. En el momento de escritura de este informe se están detallando todas las líneas instrumentales e instrumentos concretos. Sin embargo, lo que es seguro es que la nueva Acción Estratégica pretende acercar el conocimiento generado en los grupos de investigación a las empresas con el fin de que este revierta en la sociedad, lo que implicará un esfuerzo por parte de todos los actores del sistema.

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

Tabla 6. Líneas de la Acción Estratégica en Nanociencias y Nanotecnologías, Nuevos Materiales y Nuevos Procesos Industriales del PN I+D+i 2008-2011



#### 4. Otras iniciativas españolas en Nanotecnología

En apartados anteriores ya hemos descrito cómo la acción de la Red NanoSpain, formada por investigadores de todo el país (y con muy poco apoyo económico), fue decisiva para la implantación de la Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología. Este esfuerzo inicial de los investigadores fue seguido de otras iniciativas de carácter institucional lideradas por Universidades, Comunidades Autónomas, etc. Desde un primer momento, la Generalitat de Cataluña jugó un papel relevante en el fomento de la Nanotecnología mediante una Acción Especial de desarrollo de la Nanociencia y Nanotecnología en Cataluña, financiando estancias posdoctorales en centros de investigación de prestigio, y articulando la creación de dos instituciones: el Laboratorio de Investigación en Nanobioingeniería (CREBEC) perteneciente al Instituto Catalán de Bioingeniería (IBEC) [33] y el Instituto Catalán de Nanotecnología [34].

Tras estas iniciativas siguieron otras, como la creación del Instituto de Nanociencia de Aragón (INA) [35] o la Unidad de Nanotecnología de la Universidad de Oviedo [36]. Más reciente han seguido la constitución del centro CIC-nanoGUNE en el País Vasco [37] y la del centro IMDEA Nanociencia [38] apoyado por el Gobierno de la Comunidad Autónoma de Madrid y el Ministerio de Educación y Ciencia. En el último caso hay que mencionar que el centro comenzó a planificarse hace cinco años y ha pasado por una larga historia de vicisitudes hasta encontrar su formato actual. El Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) [39] no se ha quedado al margen de estas iniciativas y ha diseñado el Eje-Nano dentro su Plan Estratégico para el periodo 2006-2009. Dentro de este Eje el CSIC está fomentando la creación de nuevos centros como el Instituto de Nanotecnología de Asturias [40] en colaboración con la Universidad de Oviedo y el Principado de Asturias, y el Centro de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología (CIN2) ubicado en Barcelona [41] en colaboración con el Gobierno de Cataluña y la Universidad Autónoma de Barcelona.

Otros centros de I+D de ámbito "nano" están en fase embrionaria (como ocurre en Andalucía con BIONAND [42]) y en breve espacio de tiempo habrá una red de centros que permitirá a nuestro país ser competitivos dentro del Espacio Europeo de Investigación. La Figura 5 ilustra la distribución geográfica de los centros de I+D dedicados a Nanotecnología y que ya están en pleno funcionamiento, en fase de diseño o construcción, o en fase de estudio. Para finalizar con esta relación de iniciativas destinadas a poner en marcha centros de I+D, debemos mencionar el Laboratorio Ibérico Internacional de Nanotecnología (INL) [43], cofinanciado por los Gobiernos de España y Portugal, y que estará ubicado en Braga (Portugal), lo que contribuirá a la internacionalización de la ciencia española en este tópico.

No sólo se han concentrado los esfuerzos en erigir nuevos centros de I+D. Las Comunidades Autónomas también han facilitado la creación de entidades dedicadas al intercambio de información y transferencia de conocimiento dentro del sistema de I+D como el Círculo de Innovación Tecnológica en Microsistemas y Nanotecnologías de la Comunidad de Madrid (CIMTAN) [44] o de redes regionales de investigadores como ha ocurrido en Galicia con la red "NanoGalicia" [45].

El País Vasco lleva varios años apostando por la investigación en nanociencia y nanotecnología, que ya aparecían como áreas prioritarias del Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación 2001-2004 del Gobierno Vasco. El principal instrumento desde el que se ha planteado la investigación en nanociencia y nanotecnología, ha sido el Programa de Investigación Estratégica ETORTEK, en cuyo marco se han ejecutado en el periodo 2005-2007 dos grandes proyectos en los últimos 5 años: NANOMATERIALES, centrado en la generación de conocimiento en el campo de los

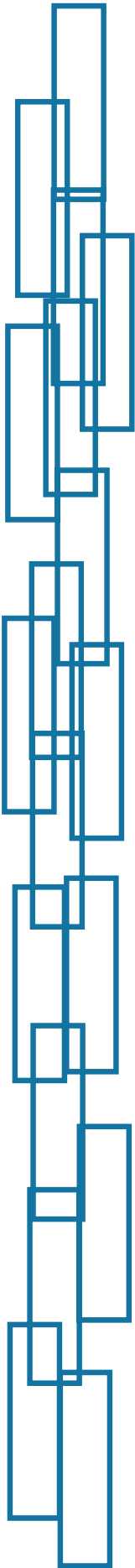
nanomateriales desde una perspectiva de la ciencia e ingeniería de materiales, y NANOTRON, centrado en la generación de conocimiento en nanosistemas y nanoelectrónica.



Figura 5. Mapa de centros de I+D dedicados a Nanotecnología

La culminación de las iniciativas de investigación en nanociencia y nanotecnología en el País Vasco ha sido la concesión, en el marco del Programa Consolider-Ingenio 2010, del Proyecto "CIC nanoGUNE Consolider" orientado hacia la puesta en marcha del CIC nanoGUNE como nuevo centro de I+D en nanociencia y nanotecnología [37]. Sin embargo, no todo termina aquí, y el Gobierno Vasco, ha diseñado la Estrategia nanoBASQUE 2015, orientada a promocionar la nanotecnología hacia el ámbito empresarial y así incrementar la competitividad industrial del País Vasco. El resultado global que se espera obtener para el año 2015 es el de contar con una comunidad de conocimiento con una masa crítica investigadora consolidada y un nuevo sector económico competitivo posibilitado por la nanotecnología. Uno de los pilares fundamentales sobre los que se asienta la Estrategia nanoBASQUE 2015 es, el ya mencionado, Centro de Investigación Cooperativa en Nanociencias – CIC nanoGUNE, que desarrolla el concepto de investigación cooperativa, ya puesto en práctica con éxito en varios casos en la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Todos los centros de investigación en marcha se volcarán en la importantísima tarea de la transferencia tecnológica. Sin embargo, esta actividad de difusión seguirá desarrollándose por el fuerte entramado creado en los últimos años de Parques Científicos y Tecnológicos [46], por las oficinas de transferencia de tecnología de las universidades y OPIS, y por multitud de Centros Tecnológicos como TECNALIA (INASMET- TECNALIA, LABEIN y ROBOTIKER) o IK4 (CEIT, CIDETEC, GAIKER, IDEKO, IKERLAN, TEKNIKER y VICOMTech). También eclosionarán redes sectoriales orientadas a sectores productivos concretos como ocurre con la Red RENAC (red para la aplicación de nanotecnologías en materiales y productos para la construcción y el hábitat) [47] o Suschem (Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible) [48].



Estas estrategias de difusión se refuerzan con otras actividades complementarias, pero decisivas. Como ejemplo mencionaremos que el Instituto Español de Comercio Exterior – ICEX – está colaborando, de manera activa, en la promoción y divulgación científica a distintos niveles dentro del campo de la nanotecnología. Gracias a su “Plan Tecnológico” en Nanotecnología (coordinado por la Fundación Phantoms) ha sido posible, por primera vez, la participación de un pabellón Español en la feria internacional Nanotech 2008 en Japón, una de las más importantes en el área de la Nanotecnología con más de 50.000 visitantes [49]. Esta iniciativa de internacionalización de nuestro conocimiento más aplicado tendrá continuidad con otras similares en otros países tanto en la UE, EE.UU., como en Asia, hacia donde se dirigen todas las miradas que analizan la economía mundial.

Otras entidades están contribuyendo a realizar estudios sobre la Nanotecnología, fomentando la difusión de la misma en distintos entornos. En esta dirección, la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECyT) [50] promovió una Acción Piloto para el desarrollo de las Nanotecnologías durante el periodo 2004-2005. Dicha Acción facilitó la celebración de dos encuentros “Spanish Nanotechnology Think Tank” (SNT3) entre empresarios y científicos en los que se establecieron contactos para definir área de impacto de la Nanotecnología en la industria española. La Fundación para la Innovación de Bankinter [51] ha realizado un informe en el que aborda el estudio de la Nanotecnología usando un enfoque de tipo económico y analizando las variables que pueden acelerar/decelerar su implantación en España. Por su parte la Escuela de Organización Industrial (EOI) [52] ha promocionado los estudios sobre convergencia tecnológica Nano-Bio-Info-Cogno [53]. A finales de 2007, el CIMTAN ha lanzado un informe de vigilancia tecnológica “Nanotubos de Carbono: Aplicaciones” [54] muy orientado al tejido industrial español. La iniciativa M4nano (Modelling for Nanotechnology [54] ha contribuido en la preparación de un informe sobre “Modelización en la nanoescala” que se publicara en el año 2008 proporcionando una visión general del estado del arte en este área de investigación [56]. Para terminar este recorrido por el gran número de estudios e informes que han aparecido en los últimos dos años mencionaremos que la Fundación Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI) [57] presentará a principios de 2008 su informe “Aplicaciones Industriales de las Nanotecnologías en España en el Horizonte 2020” en el que muestra el impacto de las Nanotecnología en cada uno de los sectores industriales, analizando el potencial de cada sector desde las perspectivas científico-tecnológica y de capacidad industrial, su posible mercado, etc.

Este apartado dedicado a las iniciativas existentes en España en el ámbito de las Nanotecnologías no puede terminar sin mencionar aquellas actividades que tienen que ver con la divulgación científica. En este sentido podemos señalar el lanzamiento de las revistas “Hoja Nanotecnológica” [58] o “E-Nano Newsletter” [59], el concurso y exposición sobre imágenes científicas del nanomundo (SPMAGE07) [60], que ha dado lugar a una exposición itinerante que recorrerá varias ciudades españolas, o el lanzamiento en 2008 de una Unidad Didáctica de Nanotecnología por parte de la FECyT, que se distribuirá por todos los Institutos de Educación Secundaria y Bachillerato de España. También hay que mencionar aquí la gran cantidad de repositorios de información y de blogs dedicados a la difusión de noticias especializadas en Nanotecnología.

Ha quedado claro que las actividades relacionadas con la promoción de la Nanotecnología realizadas a lo largo de los últimos cinco años han sido muchas y muy variadas. Esto es un claro indicador de la efervescencia que vive en la actualidad el sistema español de I+D+i, consciente de la necesidad de converger rápidamente con la UE en lo que se refiere a desarrollar una investigación de calidad, para lo cual se necesita una acertada planificación a medio y largo plazo, con visión de futuro y que

tenga en cuenta nuestras fortalezas y debilidades dentro de un contexto internacional totalmente globalizado, una adecuada financiación de las iniciativas, una red de centros bien equipados, ágiles y competitivos, y personal altamente cualificado, capaz de desarrollar trabajos de investigación en un entorno multidisciplinar.

## 5. ¿Dónde estamos? ¿Hacia dónde vamos?

En las secciones anteriores de este capítulo se ha efectuado una descripción general de la situación de la Nanotecnología en España, describiendo gran parte de lo que se ha hecho en estos últimos años por los distintos actores del sistema español de I+D+i, entre los que destaca la Red NanoSpain.

Además de proporcionar una visión general, de conjunto, este informe tiene como pretensión describir la situación actual de las diferentes áreas que se han mencionado con anterioridad. Este análisis pormenorizado se lleva a cabo en el resto del informe. Con todos los datos aportados se puede hacer una buena fotografía de la situación actual, a principios de 2008, cuando se inicia la andadura de un nuevo Plan Nacional de I+D+i, en un momento de inflexión en la ciencia española, con la conversión del CSIC en Agencia, con la previsible creación de la Agencia de Evaluación, Financiación y Prospectiva de la Ciencia Española, y con la puesta en marcha de nuevos centros dedicados a Nanotecnología.

Sin embargo, no queremos dejar pasar la oportunidad de ir un poco más allá y de hacer cierta prospectiva, muy modesta, en el ámbito de cada una de las temáticas que se van a desarrollar más tarde. Para esto se ha solicitado a los expertos que han redactado cada uno de los informes sectoriales, que respondan a un sencillo cuestionario en el que se plantean las siguientes cuestiones:

- ¿Qué instrumentos, dispositivos o bienes de consumo relacionados con esta rama de la Nanotecnología cree que estarán en el mercado entre 2010 y 2015? ¿Y más allá de 2015?
- ¿Cree que dichos instrumentos, dispositivos o bienes de consumo se fabricarán por industrias españolas?
- ¿Cómo será el grado de dependencia del exterior en este campo?
- ¿Qué medidas habría que tomar para disminuir la dependencia del exterior?

Dichas preguntas intentan averiguar algunas tendencias de futuro para cada sector. Los diagramas que se muestran en las Figuras 6-13 incluyen de forma resumida las respuestas dadas por los expertos. Estas reflexiones, aunque sin valor estadístico, seguramente representan bien el sentir de las comunidades científicas vinculadas a los diversos sectores. El dato más relevante es que el grado de dependencia del exterior es menor en los temas relacionados con Energía, Fotónica y Nanobioteología-Nanomedicina, precisamente en los que España tiene algunas empresas de cierto peso (energías renovables, paneles solares y compañías farmacéuticas).

No vamos a profundizar más en todos estos temas porque en esta introducción no pretendemos realizar conclusión alguna, ya que éstas serán presentadas en el último capítulo del informe. Por lo tanto, dejamos para ese momento el análisis de todo el contenido del informe así como la elaboración de unas propuestas y recomendaciones para asentar y fortalecer la senda emprendida por la comunidad "nano" en estos últimos años.





## MICROSCOPIA DE PROXIMIDAD SPM

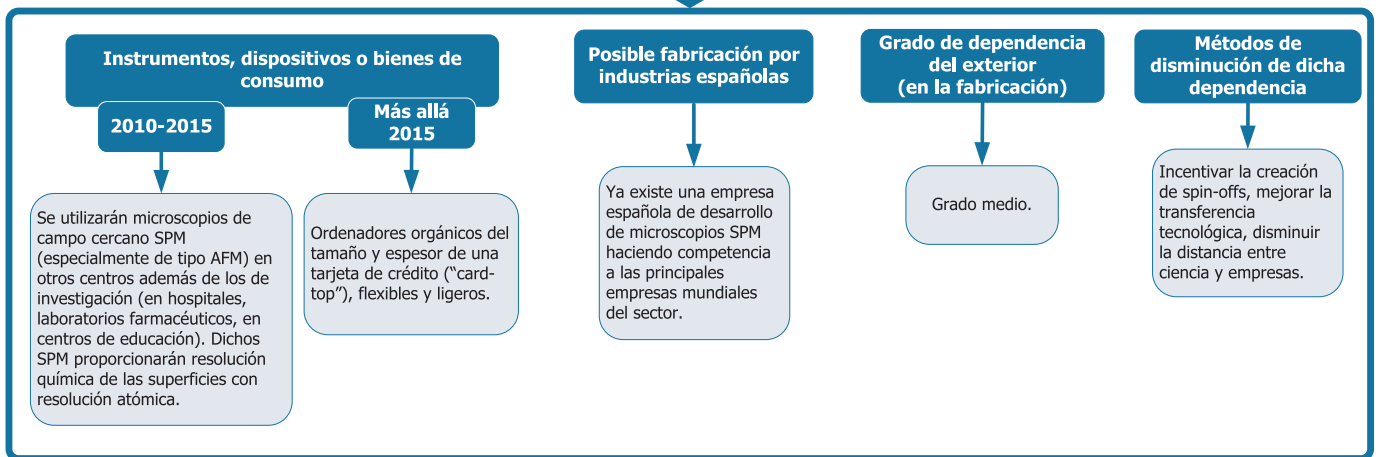


Figura 6. Esquema de las tendencias de futuro relacionadas con las técnicas SPM

## NANOQUÍMICA



Figura 7. Esquema de las tendencias de futuro relacionadas con la Nanoquímica

## NANOTUBOS DE CARBONO



Figura 8. Esquema de las tendencias de futuro relacionadas con los Nanotubos de Carbono

## NANOBIOLÓGÍA/NANOMEDICINA

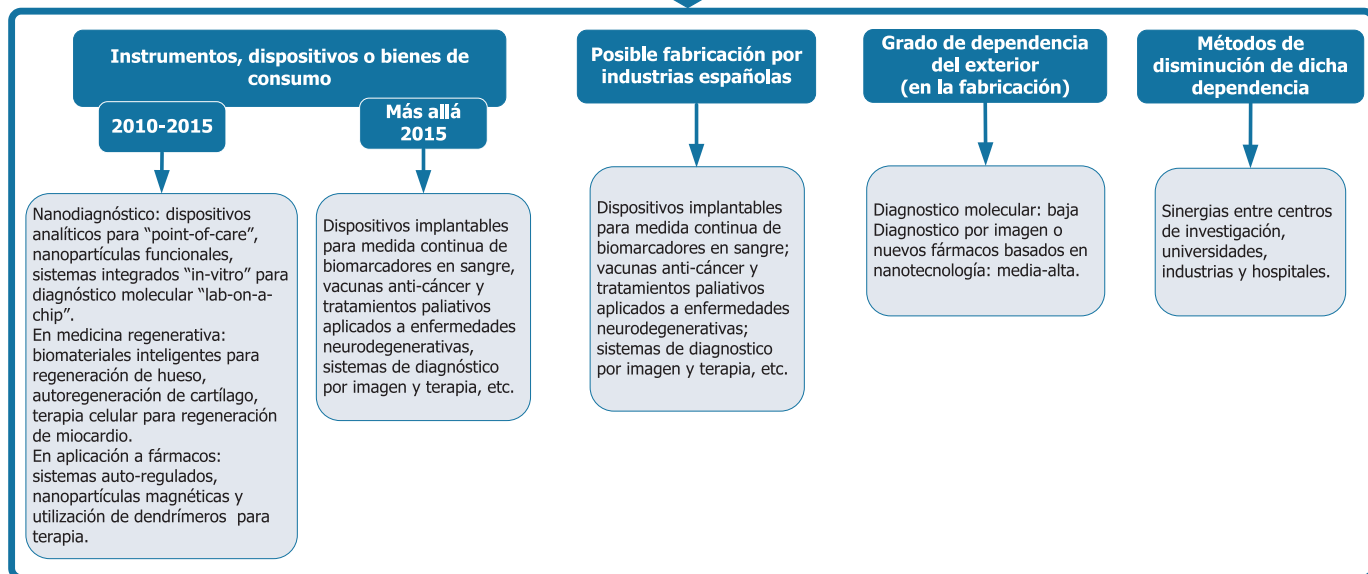


Figura 9. Esquema de las tendencias de futuro relacionadas con la Nanobiología/Nanomedicina

## ENERGÍA

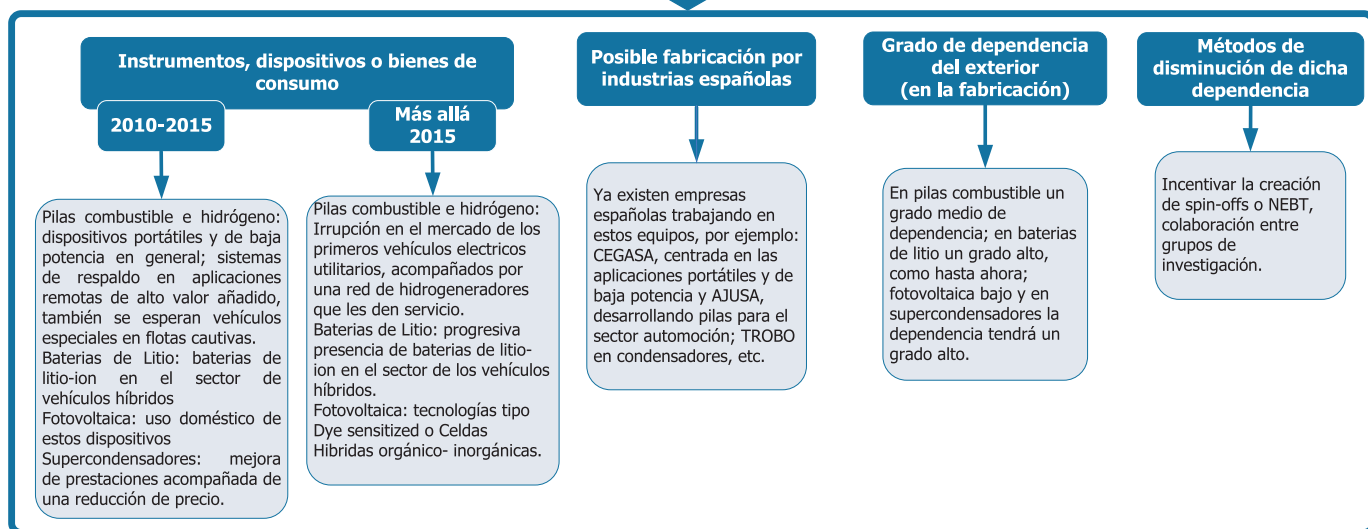


Figura 10. Esquema de las tendencias de futuro relacionadas con la Energía desde la perspectiva de la Nanotecnología

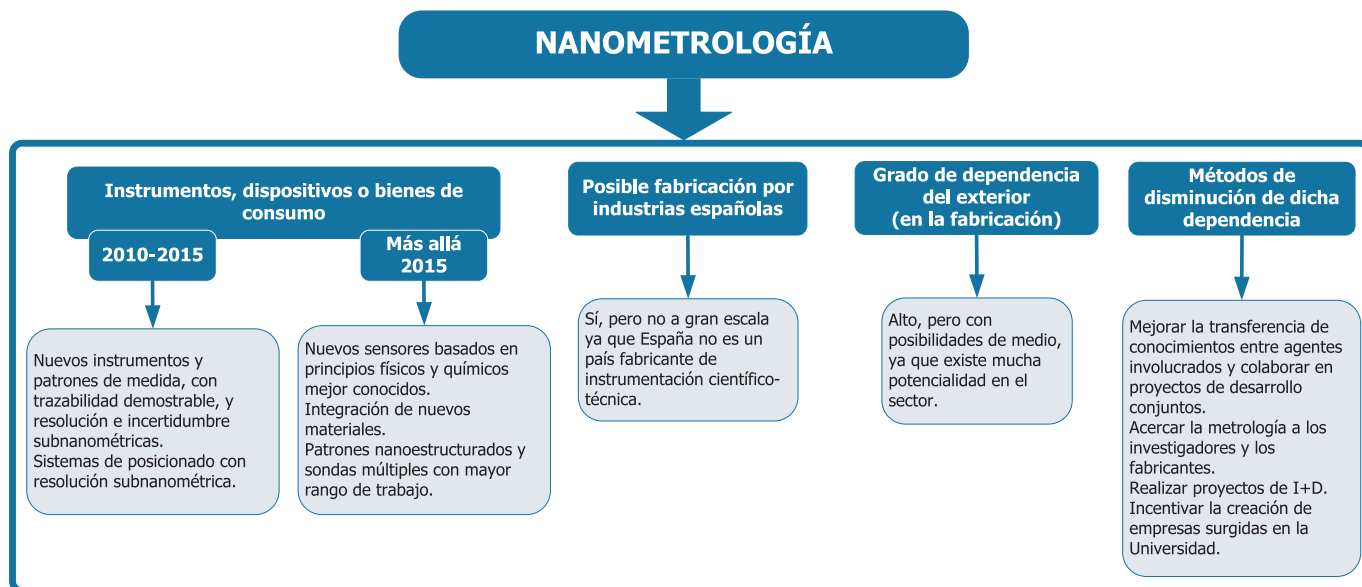


Figura 11. Esquema de las tendencias de futuro relacionadas con la Nanometrología

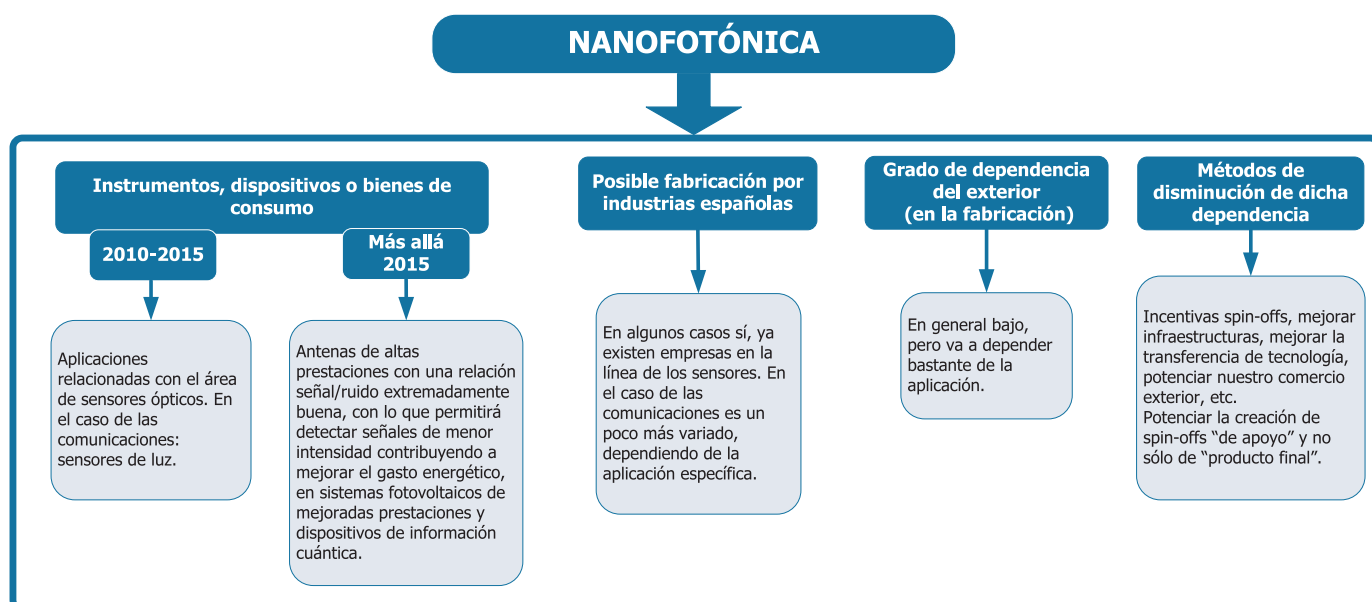


Figura 12. Esquema de las tendencias de futuro relacionadas con la Nanofotónica

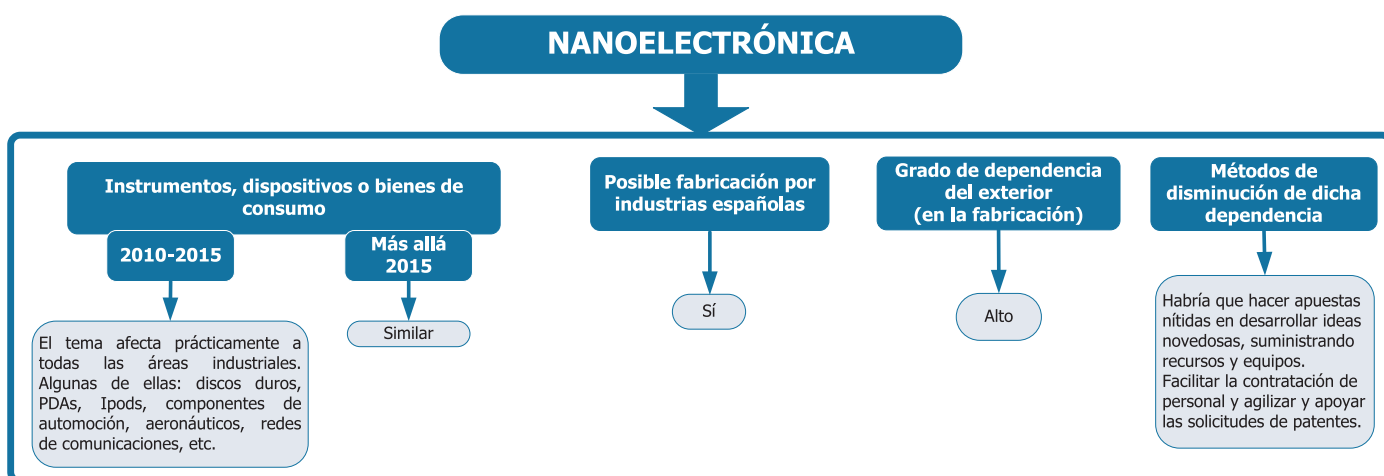


Figura 13. Esquema de las tendencias de futuro relacionadas con la Nanoelectrónica

## 6. Bibliografía

- [1] P. A. Serena y A. Correia, "Nanotecnología: el motor de la próxima revolución tecnológica", *Apuntes de Ciencia y Tecnología*, 9, 32-42 (2003).
- [2] A. Correia, M. Pérez, J. J. Sáenz y P. A. Serena, "Nanotechnology applications: a driving force for R&D investment", *Phys. Stat. Sol.* 204, 1611-1622 (2007).
- [3] A. Correia, M. Pérez, J. J. Sáenz y P. A. Serena, "Nanoscience and nanotechnology: driving research and applications", *Phys. Stat. Sol. (RRL)* 1, A68-A72 (2007).
- [4] A. Correia, J.J. Sáenz y P.A. Serena, "El lento despertar de la Nanotecnología en España", *Revista Sistema Madri+d*. Vol. 15. 3-7 (Abril, 2006).
- [5] "Marks & Clerk Nanotechnology Report" (Marks & Clerk, Oxford, 2006).
- [6] US National Nanotechnology Initiative (NNI): <http://www.nano.gov>
- [7] "Some Figures about Nanotechnology R&D in Europe and Beyond", European Commission, Research DG: <http://cordis.europa.eu.int/nanotechnology>
- [8] UE FP6 NMP Program: <http://www.cordis.lu/nmp/home.html>
- [9] UE FP6 "Emerging Nanoelectronics" Proactive Initiative: <http://www.cordis.lu/ist/fet/nid.htm>
- [10] UE FP7: [http://cordis.europa.eu/fp7/cooperation/nanotechnology\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/cooperation/nanotechnology_en.html)
- [11] EU FP7 Nanotechnology funding opportunities: [http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/eu\\_funding.htm](http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/eu_funding.htm)
- [12] EU FP7 Technological Platforms: [http://cordis.europa.eu/technology-platforms/home\\_en.html](http://cordis.europa.eu/technology-platforms/home_en.html)
- [13] [http://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/documents/ev\\_20040301\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_risk/documents/ev_20040301_en.pdf)
- [14] A. Nordmann, "Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies". (Se puede acceder al documento en la página Web [http://www.ntnu.no/2020/final\\_report\\_en.pdf](http://www.ntnu.no/2020/final_report_en.pdf)).
- [15] "International Perspective on Government Nanotechnology Funding in 2005", M.C. Roco, *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 7(6) (2005).
- [16] "US National Nanotechnology Initiative (NNI) budget overview" en la dirección web: <http://www.nano.gov/html/about/funding.html> (Se puede consultar también el documento: [http://www.nano.gov/pdf/NNI\\_FY08\\_budget\\_summary-highlights.pdf](http://www.nano.gov/pdf/NNI_FY08_budget_summary-highlights.pdf)).
- [17] C. P. Poole and F. J. Owens, "Introduction to the Nanotechnology", Wiley-VCH, Weinheim (2003).
- [18] "Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology", Editado por M. Roco y W. S. Brainbridge (Kluwer Press, Boston, 2001) (se puede obtener el documento en <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications>).

[19] "Nanotechnology: Technology and market dynamics- a unique opportunity" (Oxford Instruments, 2006).

[20] Red NanoForum (financiada por la Unión Europea hasta julio del 2007 – programa NMP): <http://www.nanoforum.org>

[21] Acción coordinada nanoICT (financiada por la Unión Europea – programa ICT/FET): <http://www.nanoICT.org>

[22] La Fundación Phantoms (<http://www.phantomsnet.net>), entidad sin ánimo de lucro, fundada en noviembre de 2002, proporciona una plataforma de servicios e información para grupos de investigación que desarrollan su actividad en el campo de la Nanociencia y Nanotecnología.

La Fundación Phantoms es organizador de eventos:

- A nivel nacional con NanoSpain (<http://www.nanospainconf.org>).
- A nivel europeo con Molecular Imaging (<http://www.phantomsnet.net/molimag/>), NanobioEurope, (<http://www.phantomsnet.net/Events/nanoEu08.php?project=1>) y SMS (<http://www.phantomsnet.net/SMS2007/index.php>).
- A nivel internacional con la serie de congresos Trends in Nanotechnology ("TNT" - [www.tntconf.org](http://www.tntconf.org)). Evento consolidado en la comunidad científico-tecnológica a nivel internacional con un alto número de participantes (alrededor de 400) y se ha constituido como cita obligada de todos los que investigan y/o trabajan en Nanociencia y Nanotecnología.

[23] Red Española de Nanotecnología: <http://www.nanospain.org>

[24] El congreso "NanoSpain2008", organizado en colaboración con 2 redes nacionales i.e. NanoSpain y PortugalNano (<http://www.portugalnano.eu>), servirá de plataforma para promover la Cooperación Científica entre España y Portugal (plasmada en la construcción del Laboratorio Internacional Ibérico de Nanotecnología que estará operativo en el 2008).

[25] La edición del 2008 (Braga, Portugal) permitirá promover la interacción interdisciplinar entre especialistas en distintas áreas de NanoCiencia y Nanotecnología de tres países i.e. España, Portugal y Francia:

<http://www.nanospainconf.org/2008/index.php?conf=08>

[26] El estudio realizado en el año 2005 con la colaboración de la Red NanoSpain (coordinado por la Fundación Phantoms y financiado por la FECyT) se centro en las actividades y necesidades en el área de las Nanociencias/Nanotecnologías para: 1) El establecimiento de un mapa de infraestructuras necesarias en ámbito "nano" durante el periodo 2005-2010 en España. 2) La mejora de la formación de técnicos.

[http://www.nanospain.org/nanospain\\_Informe.htm](http://www.nanospain.org/nanospain_Informe.htm)

[27] Plan Nacional de I+D+i 2004-2007: [http://www.mec.es/ciencia/plan\\_idi](http://www.mec.es/ciencia/plan_idi)

[28] Plan Ingenio 2010: <http://www.ingenio2010.es>

[29] Sistema Integral de Seguimiento del Plan Nacional: <http://sise.fecyt.es>

[30] "Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías", Comisión Europea, COM (2004) 338.

[31] "World Development Indicators database", World Bank (2006).

- [32] Plan Nacional de I+D+i 2008-2011: <http://www.plannacionalidi.es>
- [33] Laboratorio de Nanobioingeniería del Parque Científico de Barcelona: <http://www.nanobiolab.pcb.ub.es>
- [34] Instituto Catalán de Nanotecnología (ICN): <http://www.nanocat.org>
- [35] Instituto de Nanociencia de Aragón (INA): <http://ina.unizar.es>
- [36] Unidad de Nanotecnología de la Universidad de Oviedo: <http://www10.uniovi.es/scts/servicios/cristo/nanotec/servicioCC14presentacion.html>
- [37] CIC nanoGUNE: <http://www.nanogune.eu>
- [38] Madrid Institute of Advanced Studies in Nanoscience (IMDEA-Nanociencia): <http://www.imdea.org/Institutos/Nanociencia>
- [39] Consejo Superior de Investigaciones Científicas: <http://www.csic.es>
- [40] Instituto Universitario de Nanociencia de Aragón (INA): <http://ina.unizar.es>
- [41] Centro de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología: <http://www.cin2.es>
- [42] BIONAND, ver la información que aparece en las páginas Web: <http://www.imabis.org/viewnew.aspx?id=203>, <http://www.pta.es>
- [43] Ver la información que aparece en las páginas Web: <http://www.lamoncloa.es> y <http://www.umic.pt/index.php>
- [44] Círculo de Innovación Tecnológica en Microsistemas y Nanotecnologías de la Comunidad de Madrid: <http://www.madrimasd.org/materiales/default.aspx>
- [45] Red NanoGalicia: <http://www.nanogalicia.net>
- [46] Asociación de Parques Científicos y Tecnológicos (APTE): <http://www.apte.org>
- [47] Red Renac: <http://www.nano-renac.com>
- [48] Suschem: <http://www.pte-quimicasostenible.org>
- [49] El pabellón español (coordinado por la Fundación Phantoms en la feria nanotech2008) estuvo formado por doce empresas e instituciones representantes de diversos campos de la nanotecnología, que acudieron a esta cita con el objetivo de representar globalmente a los agentes científicos, tecnológicos y de innovación del mundo, fomentar las relaciones profesionales con otros participantes de esta feria, promocionar la cultura española de la innovación, mejorar la integración del sistema español "Ciencia-Tecnología-Empresa-Sociedad" en Europa y Asia, generar y desarrollar el conocimiento científico y tecnológico y mejorar la competitividad y contribuir al desarrollo económico y social de España: <http://www.phantomsnet.net/nanotech2008/index.php?project=1>
- [50] Fundación Española de Ciencia y Tecnología: <http://www.fecyt.es>
- [51] Proyecto "Future Trends Forum" de la Fundación de la Innovación Bankinter: <http://www.ftforum.org/nanotecnologia.htm>

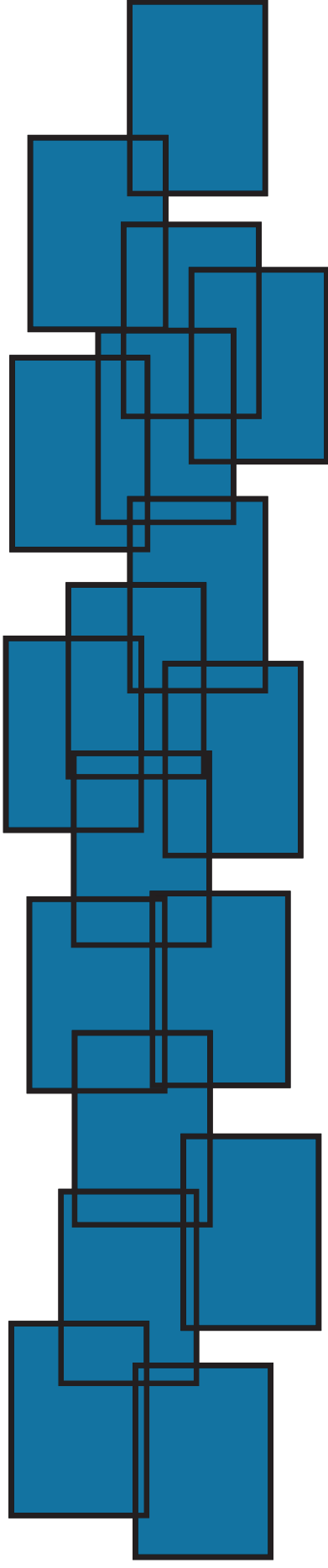
- [52] Escuela de Organización Industrial: <http://www.eoi.es>
- [53] "Convergencia NBIC 2005. El desafío de la Convergencia de las Nuevas Tecnologías (Nano-Bio-Info-Cogno)", E. Fontela, *et al.* Editado por la Fundación Escuela de Organización Industrial. ISBN 84-88723-67-9. D. Legal M.7.429-2006 (2006).
- [54] <http://www.madrimasd.org/cimtan/Informes/default.aspx>
- [55] Iniciativa M4nano (Modelling for Nanotechnology): <http://www.m4nano.com>
- [56] "Report on multiscale approaches to modelling for nanotechnology" - Editors: Massimo Macucci, Stephan Roche and Antonio Correia, to be published (2008).
- [57] Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial: <http://www.opti.org>
- [58] Revista "Nanotecnología: Hoja Informativa" editada por Nanotecnología Mundo y patrocinada por la Universidad de Oviedo: <http://nanotecnologiahojainformativa.net>
- [59] Revista trimestral "E-Nano Newsletter" editada por la Fundación Phantoms: <http://www.phantomsnet.net/Foundation/newsletters.php?project=1>
- [60] International Scanning Probe Microscope Image Prize 2007 (SPMAGE07): <http://www.icmm.csic.es/spmage07>







# ENERGÍA





## José A. Pomposo

**Lugar y fecha de nacimiento:** Donostia - San Sebastián (España), 1965

**Formación:** Licenciado en Químicas por la Universidad de País Vasco (UPV/EHU) en 1988. Doctorado por la misma Universidad en 1994. Formación sobre Lanzamiento de nuevos negocios durante 1996 (máster teórico / práctico de 800 horas).

**Carrera Profesional:** Desde 1997 dirige el Departamento de Nuevos Materiales del Centro de Tecnologías electroquímicas CIDETEC, que en la actualidad comprende las Unidades de Nanotecnologías, Biomateriales, Electro-ópticos, Sensores/Actuadores, Magnetismo, y Síntesis.

Su interés se centra en el estudio de nuevos fenómenos en la nanoescala (incluyendo la interacción nano-bio), síntesis, modelado y caracterización de nanomateriales híbridos multifuncionales y preparación de nuevos dispositivos electroquímicos, optoelectrónicos y micro/nanoelectrónicos avanzados.



## Oscar Miguel Crespo

**Lugar y fecha de nacimiento:** Donostia-San Sebastián (España), 1971

**Formación:** Licenciado en Químicas en la Universidad del País Vasco en 1994. Doctorado cuatro años más tarde en esta misma universidad.

**Carrera Profesional:** Tras un breve paso por la industria privada, en 1999 se incorpora a CIDETEC para poner en marcha la línea de trabajo en Pilas de Combustible de Membrana Polimérica (PEMFC). Dos años después es designado Director del Departamento de Energía de CIDETEC, cargo que ostenta hasta la actualidad. Coorganiza el 1er Congreso Nacional de Pilas de Combustible en San Sebastián, es representante en la Plataforma Tecnológica Europea (HFP) y la Nacional (PTE HPC), y participa en el Comité Técnico de Normalización 105 Pilas de Combustible.

Participa también en asociaciones nacionales: APPICE, AeH2, Red de Pilas de combustible, Baterías y Supercondensadores del CSIC y asume la coordinación del BCP (Basque Contact Point) para el Hidrógeno y Pilas de Combustible.

### **Documento elaborado por el Departamento de Energía de CIDETEC**

Contribuyeron: Ione Cendoya, Iratxe de Meatza, Francisco Alcaide, Miguel Bengoechea, Iker Boyado y Oscar Miguel del Departamento de Energía de CIDETEC



## 1. Introducción

Las actividades que se desarrollan en España en el ámbito de la Nanociencia y Nanotecnología aplicadas al área de Energía, tienen que ver fundamentalmente con las siguientes líneas tecnológicas:

- Pilas de combustible e hidrógeno
  - Electrocatalizadores nobles nanoparticulados
  - Membranas de intercambio protónico nanoestructuradas
  - Almacenamiento de hidrógeno en nanomateriales
- Baterías de litio
  - Materiales electródicos nanoparticulados y/o nanoestructurados
- Fotovoltaica
  - Materiales sustitutivos del silicio
- Supercondensadores
  - Nanomateriales carbonosos como material activo
  - Nanomateriales inorgánicos

Por lo tanto, el presente documento estará estructurado en torno a este conjunto de tecnologías, tratando de seguir el orden arbitrario anterior en aras de una mayor claridad. Este informe no pretende hacer una representación exhaustiva sino más bien ilustrativa del estado del arte, actores e iniciativas características o más representativas en este campo.

La riqueza y complejidad que encierra cada uno de estos cuatro tópicos, además de algunos otros que hayan podido quedar fuera de esta fotografía rápida, hacen que sin duda cada uno de ellos fuera merecedor de un documento específico más detallado.

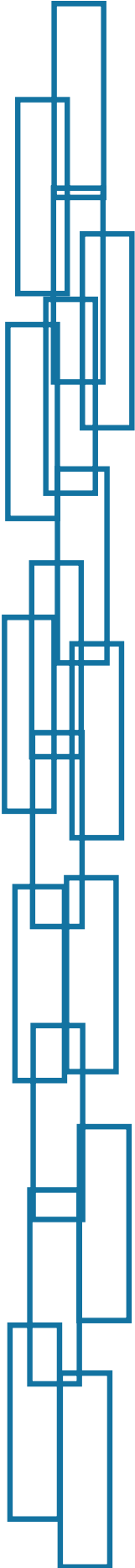
Por estas razones el presente informe es necesariamente parcial e incompleto, reflejando diversas percepciones y opiniones de algunos especialistas de CIDETEC en las respectivas materias.

## 2. Estado del arte general

- Pilas de combustible e hidrógeno

La nanotecnología puede aportar un beneficio a las pilas de combustible e hidrógeno a través de la nanoestructuración. Este concepto está relacionado con la introducción de mejoras en la manufactura de materiales, de manera que se aumenten sus prestaciones, para una aplicación efectiva en pilas de combustible y dispositivos de almacenamiento de hidrógeno. En este sentido caben destacar los siguientes aspectos relacionados con las pilas de combustible de membrana polimérica (PEMFC):



- 
- Manufactura de catalizadores: la nanoestructuración puede ayudar a manufacturar electrocatalizadores más activos frente a las reacciones que tienen lugar en la pila de combustible. Por ejemplo, se ha desarrollado un método para crear nanohojas de platino, anclando éste sobre porfirinas que contienen estaño, mediante un proceso fotocatalítico. Otro ejemplo lo constituye el uso de nanotubos de carbono orientados como soporte de electrocatalizadores tales como el platino. En este caso se consigue una mayor disponibilidad del catalizador, un menor coste y una mayor durabilidad.
  - Membranas poliméricas: es sabido que en las PEMFC que operan a temperaturas inferiores a los 100 °C, los intermedios procedentes de las reacciones que tienen lugar en los electrodos, así como el monóxido de carbono presente en el combustible, envenenan los catalizadores reduciendo el tiempo de vida de la pila de combustible, así como su eficiencia. El efecto de esas impurezas puede ser mitigado si se aumenta la temperatura de operación a 120-150 °C. Por este motivo se están desarrollando membranas que puedan operar a altas temperaturas. En este sentido, las membranas nanoestructuradas constituidas por composites orgánicos/inorgánicos (p.ej. que contiene silicio en la matriz polimérica) constituyen una nueva aproximación para minimizar los requerimientos de humidificación de las membranas.

Por otro lado, cabe decir que, en general, existen distintos tipos de nanomateriales que poseen poros de dimensiones comparables a las de los gases que se pretende almacenar. Es por ello por lo que se están investigando numerosos nanomateriales en cuanto a sus prestaciones para aplicarlos en el almacenamiento de hidrógeno. Entre ellos cabe destacar las nanofibras, nanotubos y fullerenos de carbono, las zeolitas (silicatos de aluminio cristalinos y microporosos), los hidruros metálicos nanoestructurados (basados en magnesio, níquel,...), alanatos (constituidos por  $\text{NaAlH}_4$  y diferentes agentes dopantes como el titanio) y nanocubos (redes periódicas de ácido tereftálico y moléculas de óxido de cinc, conectadas a través de enlaces carboxilato).

#### ➤ Baterías de litio

El creciente uso y mayores funcionalidades de todo tipo de aplicaciones portátiles, requieren mejoras en la densidad de energía, potencia, seguridad y coste de las celdas para responder a las demandas crecientes de las aplicaciones y sus usuarios. Es por ello que cada vez es más urgente diseñar sistemas de almacenamiento capaces de suministrar su energía, y a su vez cargarse, en el menor tiempo posible. Frente a estos retos, la nanotecnología es una prometedora herramienta para conseguir importantes mejoras en los materiales de electrodo y electrolito de baterías, quienes determinan principalmente el rendimiento de las mismas, ya que aportan:

- Nuevos mecanismos de reactividad de óxidos metálicos, sulfuros y aleaciones (materiales anódicos) respecto a la especie móvil ( $\text{Li}^+$ ), dando lugar a procesos de conversión reversibles inusuales, con menor variación

de volumen, que permitirán la aplicación de materiales de gran capacidad de almacenamiento de energía que a tamaño micrométrico no son estables.

- La posibilidad de cambiar radicalmente las cinéticas y los caminos de reacción químicos/electroquímicos de materiales inorgánicos frente a la especie móvil, al pasar de macro a nanopartículas. Entre los candidatos estudiados están los nanotubos de carbono que debido a su gran área superficial pueden incorporar más  $\text{Li}^+$ .
- La modificación morfológica con aditivos en la escala nano se erige como una herramienta útil para controlar fenómenos indeseables como la baja difusión de los iones en la interfase, tanto en electrodos como en electrolitos.

A modo de ejemplo, en los últimos años, estrategias como la obtención de nanopartículas, texturas de nanofibrillas y los nanorrecubrimientos de carbono u otro metal (p.e. Cu o Ag) durante la síntesis dan lugar a mejoras excelentes en las propiedades electroquímicas de la fase  $\text{LiFePO}_4$ , material catódico más seguro y prometedor, pero aislante "per se". Se cree que los nanopolvos actúan como sitios de nucleación para las partículas de  $\text{LiFePO}_4$  y tienden puentes entre las mismas, mejorando la conductividad intra e intergranular. Así, laboratorios de investigación de todo el mundo están dedicando gran parte de su esfuerzo a desarrollar la síntesis y procesado de materiales nanoestructurados para baterías. Como ejemplo, A123Systems ha desarrollado baterías de ión litio basadas en fosfato nanoparticulado para herramientas eléctricas de DeWalt y trabaja para aplicar esta tecnología en vehículos híbridos con General Motors.

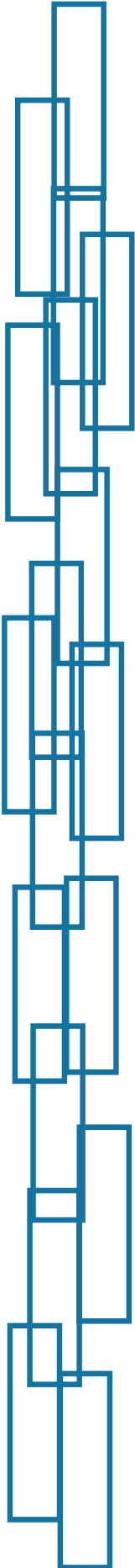
### ➤ Fotovoltaica

El objetivo principal de la investigación que se realiza en fotovoltaica es el de estudiar diferentes tipos de células que puedan competir, tanto en costo como en propiedades electroópticas, con las células de silicio. Actualmente estas células son las líderes absolutas en dispositivos fotovoltaicos, pero el costo del silicio y los valores de eficiencia fotovoltaica, dejan un margen de mejora que se trata de obtener con otro tipo de células y materiales. En el estudio de estos nuevos tipos de células (poliméricas, "dye synthetised solar cells", etc.) es donde la nanotecnología adquiere una vital importancia, ya que permite potenciar algunas de las propiedades de los materiales que forman las células (como la absorción de luz o la conducción de electrones), obteniendo dispositivos de mejores características.

La utilización de nanopartículas o materiales nanoestructurados han aportado una nueva perspectiva a la investigación en fotovoltaica, ya que con una apropiada utilización de la tecnología nano, se pueden lograr valores de eficiencia ampliamente superiores a la del silicio. Ejemplos de este tipo de materiales son:

- Nanopartículas: la utilización de nanopartículas como absorbentes de la radiación solar hace que una vez excitado, la distancia que tienen que recorrer tanto el electrón como el hueco creado, se minimice. Al tener que recorrer menor distancia la posibilidad de recombinación electrón-hueco disminuye, aumentando el número de portadores de carga que se obtiene por fotón incidente.



- 
- Materiales Nanoestructurados: Actualmente se está trabajando con óxidos nanoestructurados (sobre todo óxido de titanio) en el que se depositan los materiales absorbentes. La nanoestructura del óxido puede multiplicar por un factor 1000 el área de deposición, aumentando las eficiencias de la célula.

#### ➤ Supercondensadores

Los supercondensadores están constituidos por dos electrodos porosos aislados de posibles contactos eléctricos por un papel separador impregnado con un medio conductor de iones o electrolito. Almacenan energía por separación de cargas negativas y positivas en la interfase entre electrodo/electrolito. La nanotecnología ofrece la posibilidad de diseñar materiales nanoestructurados controlando parámetros como: Distribución y tamaño de los poros, área superficial o funcionalidad de la superficie y abre infinitas posibilidades para el diseño y optimización de materiales para supercondensadores.

Actualmente se trabaja principalmente en líneas como:

- Los nanotubos de carbono están constituidos por uno (nanotubos de capa única, SWNT) o más (nanotubos de capa múltiple, MWNT) esqueletos concéntricos de láminas de carbono. Se han realizado diferentes estudios de SWNT y MWNT como electrodos para supercondensadores. Controlando los parámetros del proceso de síntesis de los nanotubos es posible controlar el tamaño de poro y de esta manera es posible realizar materiales electródicos adecuados para cada electrolito y asegurar de esta manera que la mayor parte de los poros sean accesibles por él aumentando por tanto la capacidad del material. Por otra parte, numerosos trabajos de investigación están orientados a la mejora de la capacidad de los nanotubos por diferentes vías: Funcionalización de la superficie, incorporación de óxidos metálicos o polímeros conductores y activación térmica o química.
- Composites de nanotubos de carbono con polímeros conductores como polianilina y polipirrol.
- Otro material que está recibiendo una creciente atención es la de los carbones mesoporosos. La síntesis de carbones mesoporosos usando el método del "template" con silica mesoporosa proporciona materiales nanoestructurados que permiten optimizar propiedades que resultan altamente interesantes para su aplicación como electrodos para supercondensadores como son el tamaño de poro y el área superficial, entre otras.
- Por otra parte, la acumulación de carga en los supercondensadores que usan óxidos de metales de transición como electrodos viene dada por la presencia de reacciones redox en el óxido, efecto conocido como pseudocapacitancia. De entre los óxidos metálicos, el más estudiado es el  $\text{RuO}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$  amorfo, sin embargo, su elevado coste y los problemas medioambientales que presenta el fuerte medio ácido del electrolito que requiere limitan su uso comercial. Se trabaja intensamente en encontrar materiales alternativos que sean más baratos. Estos nuevos materiales son óxidos de manganeso, níquel, cobalto y vanadio. Existen grupos muy importantes dedicados a esta investigación en Japón y Corea.

- De la misma forma se estudian composites integrados por carbones activos y nanopartículas de óxidos de metales de transición. La presencia de las nanopartículas de  $\text{RuO}_x$  incrementa en un 50% la capacidad específica del carbón activo. El mismo efecto tiene lugar cuando se funcionalizan nanotubos de carbono con  $\text{RuO}_x$ .

### 3. Estado del Arte en España

#### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

La nanotecnología aplicada a las pilas de combustible e hidrógeno en España se centra en la investigación y desarrollo sobre nuevos materiales para su posterior manufactura y aplicación. En el campo de los catalizadores, se está investigando sobre todo en nanocatalizadores de platino soportados sobre distintos materiales y sin soportar, así como sistemas bimetálicos. Destacan los grupos de las Universidades de Alicante, Barcelona y La Laguna, el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (CSIC) y CIDETEC. En cuanto a los soportes, nanofibras y nanotubos son los que están recibiendo una mayor atención. En este contexto, se sitúan las investigaciones llevadas a cabo en el Instituto de Carboquímica de Zaragoza (CSIC) Las membranas poliméricas nanoestructuradas, constituyen otro campo de actuación.

Por otro lado, los materiales para almacenamiento de hidrógeno más estudiados son materiales carbonosos e hidruros metálicos ligeros. Aquí cabe citar la labor en este campo del grupo de Química Inorgánica de la Universidad de Alicante.

En pilas SOFC, grupos como el de la Universidad de La Laguna trabajan en el desarrollo de cátodos nanoparticulados, más porosos, lo que permite incrementar la frontera de fase triple (*triple phase boundary*). Esto mejora la actividad catalítica del cátodo frente al oxígeno y permitiendo una mayor conductividad de los iones óxido hacia el electrolito, mejorando así el rendimiento de la pila.

#### ➤ Baterías de litio

Varios grupos españoles están trabajando en busca de las mejoras señaladas en baterías gracias al uso de nanomateriales, principalmente desde el punto de vista sintético, aplicando nuevos métodos de síntesis y estudiando nuevos materiales de mayor potencia. Así, la Universidad de Córdoba desarrolla varias líneas de investigación en materiales anódicos (principalmente de estaño) y catódicos (espinelas) nanoparticulados, así como el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona en cátodos nitrurados de alta potencia. Ambos centros forman parte de la Red de Excelencia Europea en baterías de litio ALISTORE. Otro polo de investigación se agrupa en torno a la Universidad Complutense y el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, donde la experiencia en síntesis de óxidos de todo tipo se aplica ocasionalmente a cátodos y electrolitos sólidos de estructura perovskita de tamaño nanométrico. En esta revisión, no exhaustiva, cabe señalar también la investigación en síntesis de fosfatos de hierro nanocristalinos desarrollada en la Universidad del País Vasco y CIDETEC, en colaboración con CEGASA.







## ➤ Fotovoltaica

La situación favorable de la industria Española fotovoltaica en Europa (2ª por detrás de Alemania en fabricación de células), hace que existan un amplio número de empresas tractoras en el sector. El análisis realizado por estas empresas sitúan el coste y el mantenimiento, como principales frenos al crecimiento a este tipo de energía. Por tanto, los objetivos de los grupos de investigación se centrarán en la obtención de células baratas y con materiales fotoelectroquímicamente estables, que mejore los valores de una tecnología relativamente madura como es la del silicio.

Para lograr todo ello, la nanotecnología se muestra como una herramienta imprescindible para potenciar las propiedades de materiales de menor coste que las del silicio. Actualmente la investigación en España utiliza tanto las nanoestructuras de óxidos metálicos como las nanopartículas ("Quantum Dots", nanofibras, nanotubos o nanocolumnas) como vía de mejora de las células fotovoltaicas, aprovechando además la buena compatibilidad de estos materiales con otros de naturaleza diferente (como los polímeros o los líquidos iónicos).

Muestra de este tipo de celdas son las poliméricas que se investigan en el departamento de Química Orgánica de la Universidad Complutense de Madrid, que utilizan los fullerenos como material absorbente de la radiación solar, o las Dye-sensitized solar cells, que se desarrollan a partir de un óxido nanoestructurado de Titanio en el Departamento de Ciencias Experimentales de Universitat Jaume I de Castelló (UJI).

## ➤ Supercondensadores

En España la investigación en supercondensadores se basa fundamentalmente en el desarrollo y caracterización de materiales carbonosos de diversa naturaleza ya sean carbones activos de orígenes diversos como carbones mesoporosos por réplica de materiales mesoestructurados de sílices, así como nanotubos de carbono.

La investigación realizada persigue aumentar la capacidad del material implicado por una mejora de la síntesis, modificación posterior, composites, funcionalización, entre otros.

Existen grupos que se dedican a la síntesis y caracterización de Óxidos de Rutenio soportados sobre otros óxidos y carbones para electrodos.

INCAR: El Instituto del carbón de Asturias trabaja en la síntesis y caracterización de materiales carbonosos de distinta naturaleza, ya sean carbones activos de orígenes diversos como carbones mesoporosos por réplica de materiales mesoestructurados de sílice.

UA: Preparación de materiales carbonosos de diversa naturaleza (carbones activos, etc) y caracterización como electrodos para supercondensadores.

ICMM (Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid): Síntesis y caracterización de Óxidos de Rutenio soportados sobre otros óxidos y carbones para electrodos de supercondensadores.

ICB (Instituto de Carboquímica): El grupo de Nanoestructuras de Carbono y Nanotecnología, G-CNN, posee amplia experiencia en la síntesis, funcionalización, procesado y caracterización de nanotubos de carbono (CNT), y es especialista en el desarrollo de nanomateriales compuestos avanzados altamente funcionales.

#### 4. Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2008-2011

##### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

Las actuaciones futuras a desarrollar en España en cuanto a la aplicación de la nanotecnología a las pilas de combustible y almacenamiento de hidrógeno pasa por consolidar los métodos de manufactura de catalizadores de platino y desarrollar sistemas multimetálicos basados en metales no nobles. Asimismo, cabe considerar el desarrollo de nuevos nanomateriales metálicos (basados en estaño, titanio...) y carbonosos (tales como nanocuernos, nanohilos...), que puedan ser utilizados como soporte de catalizadores y en almacenamiento de hidrógeno, en su caso. Por último, es necesario afianzar el conocimiento en membranas nanoestructuradas y aumentar los esfuerzos en el desarrollo de nuevas membranas nanoporosas, capaces de satisfacer las condiciones de operación de las PEMFC.

##### ➤ Baterías de litio

Las líneas mencionadas en el apartado anterior deberán ser consolidadas para permitir un avance de la nanotecnología en este área, en la que, a excepción de un par de casos, la investigación es puntual. Dado el trabajo ya realizado en materiales nanoparticulados, la síntesis y/o procesado de electrolitos y electrodos nanoestructurados, junto con la comprensión de las propiedades electroquímicas a escala nano podrían ser el reto a plantear para realizar una aportación significativa a nivel internacional.

##### ➤ Fotovoltaica

La utilización de la nanotecnología en el campo de la fotovoltaica no está limitada a la síntesis y deposición de los nanomateriales ya que los dispositivos fotovoltaicos están formados por diferentes capas de material. El control de los procesos físico-químicos en las intercaras es un aspecto fundamental para el éxito de los dispositivos de nanoescala. Aunque actualmente la investigación en España se centra mayormente en la obtención de materiales para los dispositivos fotovoltaicos, se están realizando esfuerzos de coordinación entre diferentes grupos de investigación con el fin aglutinar los recursos y conocimientos necesarios, para la obtención de dispositivos íntegramente desarrollados en España.

##### ➤ Supercondensadores

La investigación en nanomateriales para supercondensadores, sobre todo basados en carbón está al nivel de Europa. Los grupos que se dedican a ello colaboran con los grupos europeos más representativos. No obstante, se debería incentivar la investigación en estos materiales, de forma que se consoliden las líneas de investigación y que más grupos españoles puedan dedicarse al desarrollo de la citada tecnología.



## 5. Publicaciones relevantes con contribución española 2004-2007

### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

- J. Alberto Blázquez, J. Areizaga, D. Mecerreyes, O. Miguel, Juan J. Iruin, J. Jouanneau. "Synthesis of aromatic amine end-functional poly (methyl methacrylate) by atom-transfer radical polymerization". *Reactive and Functional Polymers*, 66 (2006) 1073-1080.
- L. Calvillo, M. J. Lázaro, I. Suelves, Y. Echevoyen, E. G. Bordejé, R. Moliner. "Study of the surface chemistry of modified carbon nanofibers by oxidation treatments in liquid phase". *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. In press.
- O. Guillén-Villafuerte, G. García, B. Anula, E. Pastor, M. C. Blanco, M. A. López-Quintela, A. Hernández-Creus and G. A. Planes. "Assemble of Subnanometric 2D Pt Nanoislands in Parallel Rows onto Au (111) by Self-Organization of Pt Clusters". *Angew. Chem. Int. Ed.* 45 (2006) 1-9.
- M. Jorda-Beneyto, F. Suarez-Garcia, D. Lozano-Castello, D. Cazorla-Amoros, A. Linares-Solano. "Hydrogen storage on chemically activated carbons and carbon nanomaterials at high pressures". *Carbon*, 45 (2007) 293-303.
- Ruiz-Morales J. C, Canales-Vazquez, J et al "Microstructural optimisation of materials for SOFC applications using PMMA microspheres" *J. Mater. Chem.* 16, 540-542, 2006.

### ➤ Baterías de litio

- Lazarraga M. G., Pascual L., Gadjov H., Kovacheva D., Petrov K., Amarilla J. M., Rojas R. M., Martin-Luengo M. A., Rojo J. M. "Nanosize LiNiyMn2-yO(4) (0, y <= 0.5) spinels synthesized by a sucrose-aided combustion method. Characterization and electrochemical performance" *J. Mater. Chem.* 14(10), 1640-1647, 2004.
- Caballero A., Cruz M., Hernan L., Melero M., Morales J., Castellon E. R. "Nanocrystalline materials obtained by using a simple, rapid method for rechargeable lithium batteries" *J. Power Sources* 150, 192-201, 2005.
- Baibarac M., Lira-Cantu M., Oro-Sole J., Casan-Pastor N, Gomez-Romero P. "Electrochemically functionalized carbon nanotubes and their application to rechargeable lithium batteries" *SMALL* 2(8-9), 1075-1082, 2006.

### ➤ Fotovoltaica

- J. Bisquert. "Fractional diffusion in the multiple trapping regime and revision of the equivalente with the continuous time random walk". *Physical Review Letters*, 91, 010602 (2003).
- Haque S. A., Palomares E., Cho B. M., et al. "Charge separation versus recombination in sensitized nanocrystalline solar cells: the minimization of

kinetic redundancy". Journal of The American Chemical Society 127 (10): 3456-3462 Mar 16 2005.

- R. Pacios, A. Chatten, K. Kawano, J. Nelson, D. D. C. Bradley, J. R. Durrant. "Effects of photooxidation on the performance of MDMO-PPV: PCBM solar cells". Adv. Funct. Mat. 16, 2117-2126 (2006).
- M. Alvaro, P. Atienzar, P. de la Cruz, J. L. Delgado, V. Troiani, H. Garcia, F. Langa, A. Palkar and L. Echegoyen. "Synthesis, photochemistry and electrochemistry of single wall carbon nanotubes having pyridyl groups and of their metal complexes with zinc porphyrin. Comparison with pyridyl-substituted fullerenes". J. Am. Chem. Soc. 128, 6626-6635 (2006).
- K. Ohkubo, J. Ortiz, L. Martín-Gomis, F. Fernández-Lázaro, A. Sastre-Santos, S. Fukuzumi "Fullerene Acting as an Electron Donor in a Donor-Acceptor Dyad to Attain the Long-Lived Charge-Separated State by Complexation with Scandium Ion". Chem. Commun. 589-591 (2007).

#### ➤ Supercondensadores

- Picó, F.; Ibáñez, J.; Centeno, T. A.; Pecharrromán, C.; Rojas, R. M.; Amarilla, J. M.; Rojo, J. M. Electrochim. "RuO<sub>2</sub>.xH<sub>2</sub>O/NiO composites as electrodes for electrochemical capacitors. Effect of the RuO<sub>2</sub> content and the thermal treatment on the specific capacitance". Electrochim. Acta 51, 4693-4700 (2006).
- V. Ruiz, C. Blanco, E. Raymundo-Piñero, V. Khomenko, F. Béguin and R. Santamaría. "Effects of thermal treatment of activated carbon on the electrochemical behaviour in supercapacitors". Electrochimica Acta, Volume 52, Issue 15, 20 April 2007, Pages 4969-4973.

## 6. Proyectos relevantes en España y en la UE

### En la UE

Algunos ejemplos de proyectos representativos en los que la nanotecnología tenga un papel preponderante o significativo:

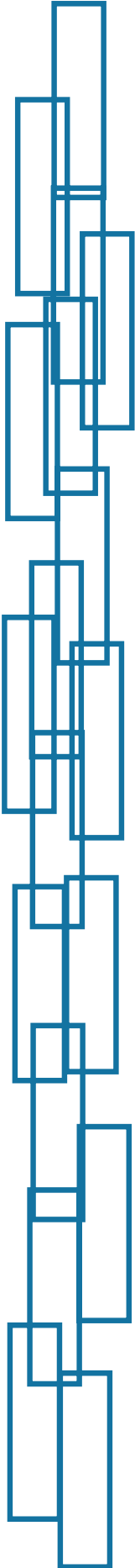
#### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

Red Marie Curie HyTRAIN, "Hydrogen Storage Research Training Network", para formación de investigadores en el ámbito, entre otras cosas, de nanomateriales para almacenamiento de hidrógeno. Participa la Universidad de Alicante como único socio español.

Proyecto NESSHY, "Novel Efficient Solid Storage for Hydrogen". Almacenamiento de hidrógeno en hidruros metálicos, materiales nanoestructurados y materiales de almacenamiento químico (sin participación española).

Proyecto FCANODE, "Non-noble catalysts for PEMFC anodes", haciendo especial hincapié en la obtención de nuevos catalizadores con tamaños de partícula controlados en la nanoescala (sin participación española).





Proyecto ZEOCELL, "Nanostructured electrolyte membranes based on polymer/ionic liquids/zeolite composites for high temperature pem fuel cells", con notable participación española: Instituto Nanociencia de Aragón, Universidad de Zaragoza (coordinador), CEGASA y CIDETEC (contrato en negociación).

➤ **Baterías de litio**

Red de Excelencia ALISTORE, "Advanced lithium energy storage systems based on the use of nano-powders and nano-composite electrodes/electrolytes" (2004-2008), con la participación de la Universidad de Córdoba y el ICMAB-CSIC.

Proyecto NANOPOLIBAT, "Nanotechnology for advanced rechargeable polymer lithium batteries" (2006-2009), liderado por VARTA, con la participación del ICMAB.

Proyecto ILLIBATT, "Ionic liquid based Lithium batteries" (2006-2009), coordinado por TU Graz, con la participación de CEGASA y CIDETEC.

➤ **Fotovoltaica**

Proyecto LARCIS, "Large-Area CIS Based Solar Modules for Highly Productive Manufacturing" liderado por el ZSW.

Proyecto ATHLET "Advanced Thin Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics" liderado por Hahn-Meitner-Institut

**En España**

Igualmente, se incluyen algunos proyectos de especial relevancia que incluyen en mayor o menor medida elementos de nanotecnología:

➤ **Pilas de combustible e hidrógeno**

Proyecto MEC-Consolider: "Electrocatalisis fundamental y aplicada en pilas de combustible" (Instituto Universitario de Electroquímica de la UA).

Proyecto CENIT DEIMOS: "Desarrollo e Innovación en Pilas de Combustible de Membrana y Óxido Sólido", que entre otras actividades contempla la investigación tecnológica en catalizadores y membranas para PEMFC poliméricas nanoestructurados.

➤ **Baterías de litio**

Proyecto MEC: "Materiales electroactivos para baterías de ion-litio obtenidos por nanodispersión in situ o ex situ". (Universidad de Córdoba).

Proyecto MEC: "Orden y desorden en sistemas nitrurados de aniones mixtos: efecto sobre procesos de intercalación, actividad electroquímica y propiedades de transporte" (ICMAB).

Proyecto MEC: "Nuevos materiales para baterías Litio ion de alto voltaje" (UCM, ICMM, San Pablo CEU, Carlos III, ICMA, PCYTA y CIDETEC).

### ➤ Fotovoltaica

CONSOLIDER HOPE (2007-2012) en el que intervienen 12 grupos de investigación, tanto de universidad como de centros tecnológicos. Los grupos participantes son: Universitat Jaume I de Castelló, Institut Català d'Investigació Química (Tarragona), Ikerlan (Mondragón), Universidad de Castilla la Mancha (Toledo), Universidad Miguel Hernández de Elche, Universitat d'Alacant, Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona), Institut de Ciències Fotòniques (Barcelona) Universidad Politécnica de Cartagena, Universidad Pablo Olavide de Sevilla, Universitat Rovira i Virgili de Tarragona, CIDETEC (San Sebastián).

### ➤ Supercondensadores

Proyecto MEC, MAT 2004-03480-C02-01 (2004-2007). "Materiales de carbono nanoporosos para aplicaciones energéticas" del Grupo de Materiales Compuestos del INCAR.

Proyecto MEC, MAT 2005-01606 "Materiales de electrodo para baterías de ión-litio (cátodos) y para supercondensadores" del ICMM.

## 7. Grupos españoles y europeos más relevantes

### En la UE

#### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

- PEMFC: CNR-ITAE, CEA, KTH, Fraunhofer Solar Institut of Energy, Imperial College of Chemistry.
- SOFC: Riso National Laboratory (DK).

#### ➤ Baterías de litio

- J. M. Tarascon (U. Picardie-J. Verne), CEA-LETI, ICMCB Bordeaux, P. Novak (Max Planck Institute), B. Scrosati (U. Roma-La Sapienza), P. G. Bruce (St. Andrews).
- M. Winter (TU Graz), S. Passerini (ENEA).

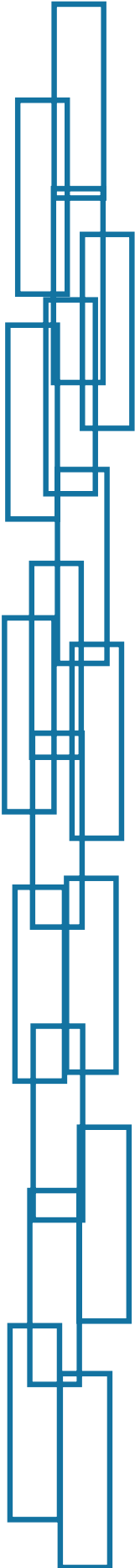
#### ➤ Fotovoltaica

- Energy research Centre of the Netherlands (ECN).
- Northumbria University (Reino Unido).
- Solar Institute, Aachen (Alemania).
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE).

#### ➤ Supercondensadores

- Poznań University of Technology. Faculty of Chemical Technology, Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry, Division of Applied Electrochemistry.
- Grupo de E. Frackowiak.
- Grupo de Energie et environnement del CRMD, CNRS en Orleans liderado por F. Beguin.



- 
- CRMD, CNRS University, 1B rue de la Férollerie, 45071 Orléans Cedex 02, Francia.
  - Paul Scherrer Institute (R. Kötz). General Energy Research Department (ENE), Electrochemistry, Suiza.

## En España

### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

- Instituto de Carboquímica de Zaragoza (ICB-CSIC), Universidad de Alicante (UA), Universidad de La Laguna (ULL), CIDETEC.
- En SOFC, P. Nuñez y J. C. Ruiz-Morales (ULL); con la utilización de microsferas para la optimización de la microestructura de materiales electródicos.

### ➤ Baterías de litio

- ICMAB: P. Gómez-Romero con materiales híbridos nanoestructurados y nanotubos de carbono, y R. Palacín, en síntesis y caracterización de nuevos materiales nitrurados para cátodos de alto voltaje.
- U. Córdoba, con los grupos de J. Morales y J. L. Tirado, trabajando tanto en ánodos como en cátodos nanoparticulados y nuevos materiales electródicos y su caracterización.
- ICMM-CSIC (J. M. Amarilla y J. M. Rojo), nuevas vías de síntesis de materiales catódicos nanoparticulados y su caracterización electroquímica.

### ➤ Fotovoltaica

- Universidad Complutense de Madrid: Nazario Martín del Dept. Química orgánica, ha trabajado con materiales absorbentes orgánicos y se dedica a las celdas poliméricas.
- Universitat Jaume I de Castelló (UJI): Joan Bisquert del Dept. de Ciencias Experimentales se dedica a la mejora de la estabilidad y la eficiencia de las Dye -sensitized solar cells.

### ➤ Supercondensadores

- INCAR (CSIC): en dos grupos:
  - Ricardo Santamaría y Rosa Menéndez, entre otros, que trabajan en la preparación de materiales de carbono activo para electrodos de supercondensadores.
  - Teresa Centeno: En síntesis de carbones mesoporosos por réplica de materiales mesoestructurados de sílice. Obtención de carbones activos a partir de pulpa de manzana (ha dado lugar a una patente).
- UA: (A. Linares-Solano). Síntesis de materiales carbonosos y su uso en aplicaciones energéticas.

- ICMN (Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid): (J. M. Rojo). Preparación y caracterización de materiales conductores iónicos y mixtos (conductividad iónica + electrónica) y materiales ferro-piezoeléctricos. Síntesis de óxidos de Rutenio soportados sobre otros óxidos y carbones para electrodos de supercondensadores.
- ICB (Teresa Martínez): Como productores de nanotubos que son caracterizados en otros grupos.

## 8. Iniciativas españolas y europeas más relevantes (Plataformas Tecnológicas, etc.)

### **HFP, European Hydrogen and Fuel Cells Technological Platform**

Desde 2004, Europa cuenta con esta plataforma que aglutina a los principales agentes industriales, tecnológicos y políticos implicados con el sector de las tecnologías del hidrógeno. Desde entonces ha mostrado una intensa actividad, produciendo diversos documentos de gran interés como la Agenda Estratégica de Investigación, la Estrategia de Despliegue o el Plan de Implementación.

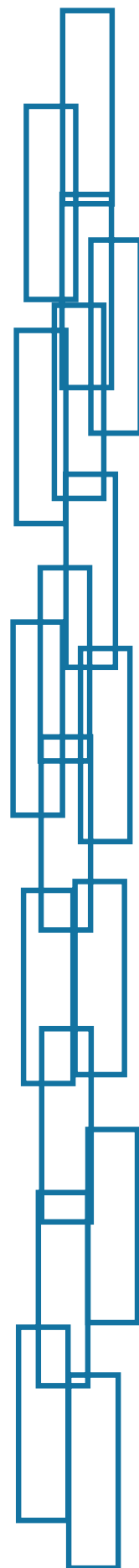
En la actualidad, los principales actores de la HFP se encuentran inmersos en el proceso de creación de una Iniciativa Tecnológica Conjunta o JTI que, combinando las aportaciones de los sectores público y privado, permita establecer compromisos y optimizar recursos de cara al desarrollo e implantación progresiva de las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible.

### **PTE-HPC, Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible**

La Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible (PTE-HPC) es una iniciativa promovida por la Asociación Española del Hidrógeno conjuntamente con otras cuatro entidades: ELCOGAS, HYNERGREEN, IKERLAN e INTA, amparadas por el Ministerio de Educación y Ciencia y apoyadas por numerosas entidades del panorama nacional cuyas actividades guardan algún tipo de relación con las Tecnologías del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible.

### **PV: European Photovoltaic Technology Platform**

Esta plataforma ha sido establecida para definir y apoyar la implementación de una estrategia coherente y comprensible para el área de la fotovoltaica. La plataforma trata de aglutinar todos los estamentos implicados para poder unificar una visión de los pasos a seguir en fotovoltaica, para que Europa pueda mantener o mejorar su posición industrial en este área. Esta plataforma realizará la Agenda Europea de Investigación en fotovoltaica para la próxima década.

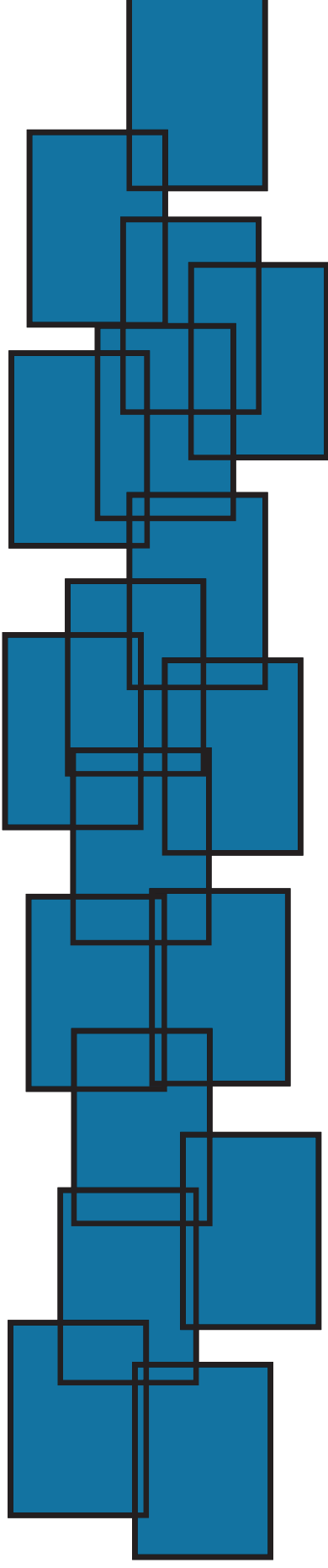






# SPM

MICROSCOPIAS DE CAMPO CERCANO





## Javier Méndez

**Lugar y fecha de nacimiento:** Madrid (España), 1966.

**Formación:** Licenciado en Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid en 1989, donde también completó el doctorado. Posteriormente realizó el post-doc en Berlín.

**Carrera Profesional:** Su carrera científica ha estado siempre vinculada al microscopio de campo cercano (SPM). Con esta técnica ha investigado superficies de metales, óxidos semiconductores y recientemente, materiales orgánicos. Ha trabajado en temas tan variados como la modificación de superficies, la conducción cuántica y las reacciones catalíticas. Vinculado al CSIC desde el año 2002, obtuvo la plaza de Científico Titular en 2005. Está especializado en microscopía y espectroscopia de efecto túnel, así como en la nanoestructuración. Ha trabajado con los grupos de los profesores H. Niehus y G. Ertl (recientemente galardonado con el Premio Nobel de Química).



## 1. Introducción

La microscopía SPM (del inglés *Scanning Probe Microscopy*, [*Probe* = "sonda"] traducido sin embargo como "microscopía de campo cercano") consiste en aproximar una punta o "sonda" a una superficie que se quiera visualizar y medir la interacción entre la punta y la superficie. Moviendo la punta sobre la superficie (en inglés *scanning*) se obtiene un mapa de esta interacción y por lo tanto una imagen de la muestra en estudio. En función de la interacción que se utilice tenemos los diversos microscopios que abarcan esta técnica. Así, el microscopio de efecto túnel STM (*Scanning Tunnelling Microscope*) mide la corriente eléctrica que aparece entre punta y muestra cuando aplicamos una diferencia de potencial entre ambas. El microscopio de fuerzas AFM (*Atomic Force Microscope*) mide las fuerzas de la interacción que haya entre punta y muestra cuando se encuentran próximas. El microscopio de fuerzas magnéticas MFM (*Magnetic Force Microscope*) es una variante del AFM donde se mide la interacción magnética. El microscopio óptico de campo cercano SNOM (*Scanning Near-Field Optical Microscope*) mide la luz evanescente reflejada o transmitida por la muestra. El hecho de que todos estos parámetros de interacción decaigan rápidamente con la distancia, hace necesario que la distancia entre punta y muestra en estos microscopios sea del orden o inferior al nanómetro (1 nanómetro = 0.000000001 metros) y es lo que hace que estas técnicas sean tan delicadas (muy sensibles a pequeñas vibraciones y ruidos), pero por otro lado, es lo que proporciona la altísima resolución que se obtiene, llegando incluso a hacer visibles los átomos de las superficies que observemos.

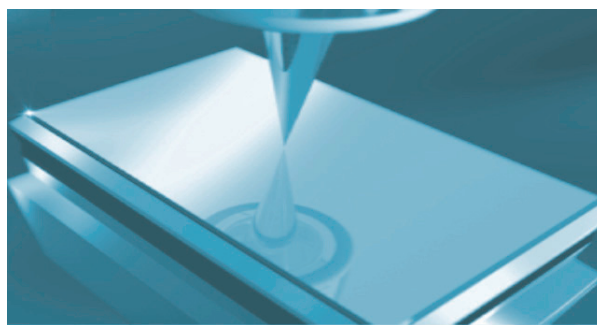


Figura 1. Imagen simulada del STM

Desde la invención del microscopio de efecto túnel (STM) en 1982 por Binnig y Rohrer (investigadores que comparten el premio Nóbel de Física de 1986 por dicha invención) esta técnica y en general las técnicas que conforman la microscopía de campo cercano (SPM: STM, AFM, SNOM, MFM,...) han obtenido una relevancia creciente en las diversas áreas de investigación de Física, Química y Biología. Así, la comunidad de investigación dedicada a esta técnica, o que emplea esta técnica como herramienta base, ha superado con creces en menos de 20 años a las comunidades de otras técnicas microscópicas, que cuentan con muchos más años de desarrollo. España no ha estado al margen de esta progresión y ha estado presente desde los comienzos de esta técnica (el primer congreso de STM se realizó en España, en Santiago de Compostela, y el primer grupo de SPM que surgió en España lo hizo en el año 84).

El número de artículos que tienen como palabra clave "*Scanning Probe Microscopy*" (o bien "STM" o "AFM") es de 66513. De estos artículos Estados Unidos participa con 18533 (28%) de los artículos, Japón con 9901 (15%), Alemania con 7766 (12%). España ocupa el duodécimo lugar en esta escala de producción mundial de artículos de SPM con 1571 artículos (2.4%). Si consideramos los últimos años, de 2004 hasta hoy, los porcentajes se mantienen salvo en algunos matices: China pasa a ser la

segunda potencia mundial, y España adelanta a Suiza y Rusia, pero es adelantada por la India y Taiwan, manteniendo la duodécima posición. La producción española sube ligeramente hasta el 2.8% de los artículos mundiales.

Si consideramos Europa como entidad, Europa es claramente el mayor productor científico mundial en este área, con casi el 50% de los artículos. Dentro de Europa (ver figura 1 presentado), España ha pasado a la quinta posición (si contamos desde 2004), detrás de Alemania, Francia, Inglaterra e Italia.

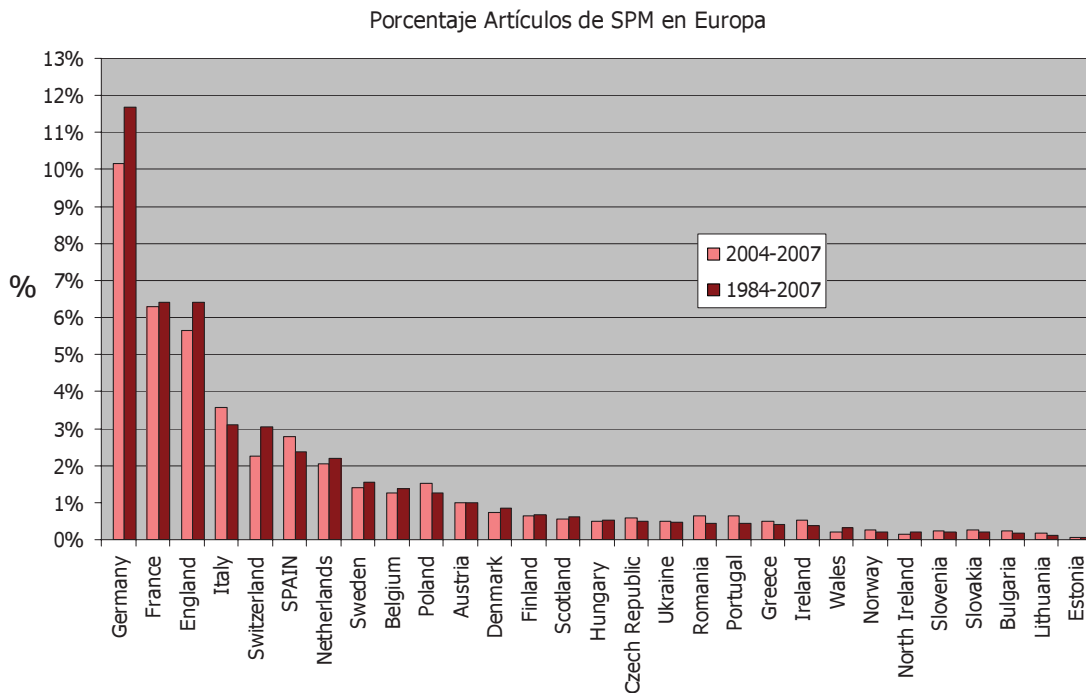


Figura 2: Porcentaje de artículos de SPM en Europa en base al total Mundial

Si distinguimos entre las diversas técnicas SPM, el 60% de los artículos son de AFM, 34% de STM y el 6% restante de otras microscopías. Esta ventaja del AFM se hace mayor si consideramos los últimos años (desde 2004): 71% de los artículos son de AFM, 21% de STM y el 8% restante de otras técnicas.

Este sencillo estudio estadístico nos da ya idea de algunos puntos importantes a tener en cuenta en este informe:

- Europa es un ámbito de gran importancia en la producción científica mundial.
- Países como China, Corea del Sur, Taiwan e India están despuntando en importancia en el ámbito científico (al igual que en el económico).
- La microscopía de fuerzas (AFM) tiene un mayor crecimiento que la microscopía túnel.
- Otras microscopías (SNOM, MFM, etc.), aunque en menor medida, van ganando terreno.

## 2. Estado del arte general

El potencial del STM, especialmente en sus primeros años de desarrollo, derivaba de la capacidad de resolver a escala atómica las superficies de los materiales en estudio. Durante años, los trabajos presentados en los congresos del campo han mostrado imágenes de átomos que se encontraban en complicadas reconstrucciones superficiales. Una vez resueltas la mayor parte de superficies, éstas han perdido relevancia. Luego se logró alcanzar la capacidad nanotecnológica de esta microscopía, la capacidad de manipular a escalas nanométricas, la capacidad de modificar las superficies de forma local mediante la punta del microscopio y en definitiva, la capacidad de escribir de diversas maneras cada vez más pequeño, cada vez con mayor densidad de información. Una vez conseguido, y dado que la posibilidad de aplicar estas técnicas a dispositivos reales es inviable (tiempos de acceso y de escritura demasiado largos), las líneas de investigación han tomado otras vías. Una de estas vías es la autoorganización. Consiste en aprovechar las propiedades de los materiales (difusión, nucleación, segregación, reacción) que dan lugar a la formación de estructuras ordenadas (ver el "review" reciente de J. Barth y K. Kern publicado en Nature, que recoge diversos modos de formar estructuras ordenadas).

Entre los trabajos más destacados de los últimos años, sobresale el interés por medir las propiedades de un solo átomo o de una sola molécula: la carga de un átomo individual (Reep et al.), el *spin* de un sólo átomo (Eigler et al.), la vibración de una molécula (W. Ho et al.).

Una línea de investigación claramente "de moda", son las moléculas orgánicas. Así, desde hace años en los congresos de SPM se presentan innumerables trabajos dedicados a la adsorción de moléculas que van desde los fullerenos (buckyballs y nanotubos), los perilenos, las ptialocianinas, hasta aminoácidos sencillos.

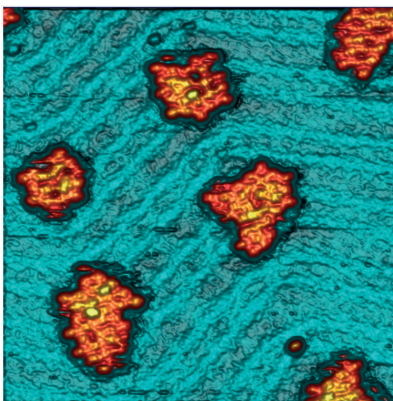


Figura 3. Nanoestructuración de moléculas orgánicas. Puntos Orgánicos. Objetos formados por moléculas orgánicas con un tamaño de unos pocos nanómetros de diámetro

La técnica que ha tenido un desarrollo más meteórico ha sido el microscopio de fuerzas AFM. Su capacidad de medir cualquier tipo de muestras (no sólo conductoras o semiconductoras como ocurre con el STM), una mayor velocidad de acceso y medida, una mayor independencia de la punta (el área de interacción de la punta es mayor, y por lo tanto es más estable frente a cambios de punta) e incluso, su mayor facilidad de interpretación (frente al STM donde se combinan efectos topográficos y espectroscópicos), hacen que esta técnica tenga una mayor difusión. Así, por ejemplo, debido a su potencial como herramienta para materiales biológicos no conductores, el

AFM ha copado la temática "bio". También, y gracias al desarrollo reciente y la obtención de resolución atómica mediante al modo "non-contact", el AFM gana terreno en un ámbito hasta ahora reservado al STM: la resolución de superficies a escala atómica (O. Custance et al.). El AFM aporta además información espectroscópica que pudiera servir para obtener la resolución química de las superficies y con una interpretación más directa.

Entre otros avances recientemente desarrollados mediante AFM, cabe destacar la posibilidad de medir las fuerzas necesarias para realizar determinados procesos biológicos (enrollado de la cadena de DNA, interacción entre enzimas).

### 3. Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2008-2011

En primer lugar, y como se menciona ya en la introducción, España debe mirar claramente hacia Europa, ya que es en este ámbito donde España puede aportar y puede adquirir relevancia. Para ello debemos hacer un esfuerzo por estar en el mayor número de iniciativas europeas posibles: proyectos, plataformas, colaboraciones. Desde los organismos públicos también se debería apoyar a los investigadores involucrados en la gestión de estas iniciativas.

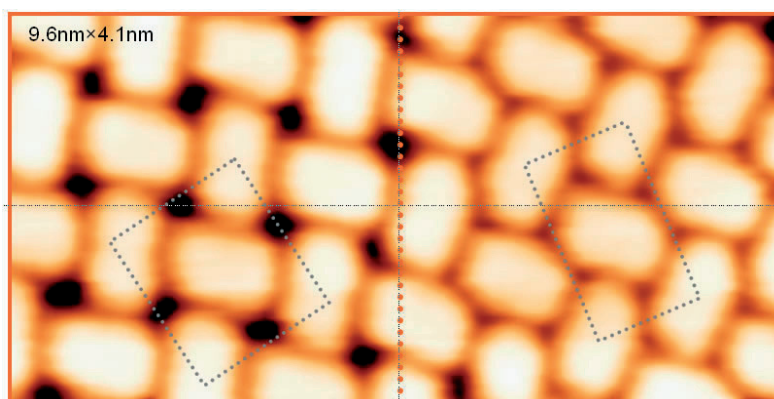


Figura 4. Imagen SPM. Moléculas orgánicas ordenadas en dos estructuras estables

Uno de los grandes defectos que adolece la investigación española (en general y en particular en el campo de la microscopía SPM) es la gran distancia existente entre científicos y la industria. Para mejorar la situación española, la solución requiere aportaciones desde todos los frentes. Por un lado los investigadores deben dedicar parte de sus investigaciones a temas que sean del interés de las empresas. Por otro lado los empresarios deberían apostar por inversiones que no sean a corto plazo. Finalmente, el Estado debería servir como intermediario y hacer confluir a empresarios e investigadores. Para realizar esta tarea hay que disponer de la información: grupos de investigación y técnicas disponibles por un lado; necesidades y problemas por resolver por el lado de las empresas. Se puede decir que ya existen estas iniciativas, que hay plataformas, convocatorias de proyectos conjuntos, subvenciones... pero parece que no son suficientes y no están bien coordinados. La solución puede estar en la base: fomentar el encuentro entre empresarios y científicos. Para ello se podrían fomentar las reuniones donde los empresarios expongan sus requerimientos y sus necesidades, y los investigadores presenten posibles soluciones, o al menos, que investigación se puede realizar para aproximarse a ellas. Otra posible vía de actuación, dentro de esta misma línea, es incentivar la producción de patentes y la creación de spin-offs por medio de ayudas estatales. También se deben fomentar actuaciones de

divulgación: semana de la ciencia, visitas a centros de investigación, cursos e incluso programas televisivos de divulgación.

En otro orden de cosas, la inversión en investigación es claramente insuficiente, muy por debajo de la media europea y lejísimos de los objetivos europeos. Es necesario pues un esfuerzo en este aspecto. El problema está en cómo distribuir nuevas inversiones sin caer en el "café para todos", que aunque sería positivo, no llevaría a España a la primera línea de la investigación europea. Es por lo tanto conveniente invertir en ciertas líneas prioritarias. En investigación es fácil entrar en vanguardia: hay que invertir en las líneas de investigación novedosas, no en las líneas de investigación ya establecidas. En el área de la microscopía del campo cercano SPM, los temas de vanguardia donde se debe invertir son:

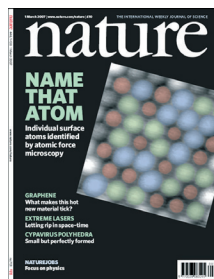
- El estudio de materiales orgánicos, materiales con interesantes aplicaciones en dispositivos.
- La microscopía de fuerzas en el modo no contacto, línea en la que hay importantes contribuciones españolas tanto experimentales como teóricas
- Detección de reacciones biológicas o químicas en micropalancas funcionalizadas (biosensores).
- Otras microscopías de campo cercano, como la microscopía de fuerzas magnéticas MFM o la microscopía de sonda Kelvin (*Kelvin Probe Microscopy*).

Los mismos argumentos son validos para justificar que la inversión no recaiga en grupos ya consolidados, en investigadores "senior", sino en grupos emergentes y jóvenes investigadores.

#### 4. Publicaciones más relevantes en el área (año 2004-2007)

- Y. Sugimoto, P. Pou, M. Abe, P. Jelinek, R. Perez, S. Morita and O. Custance, Chemical identification of individual surface atoms by atomic force microscopy, *Nature* 446 (2007) 64-67.

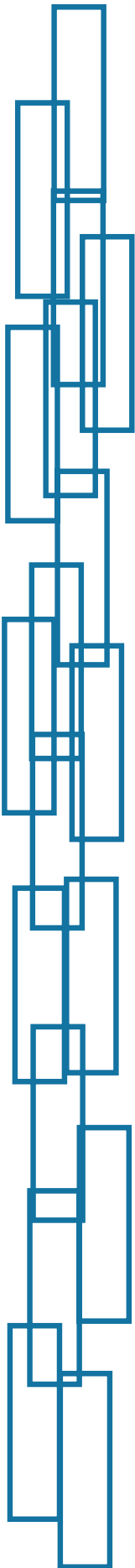
Nota: aunque la parte experimental esta realizada en Japón, el trabajo está dirigido por un español, Oscar Custance, y la parte teórica esta realizada por los españoles Pablo Pou y Rubén Pérez. Este trabajo ha sido portada de la revista *Nature*.



Copyright Macmillan Publishers Ltd 2007.  
Cover of the 2007, 1st of March issue of *Nature* devoted to the chemical identification of individual atoms by atomic force microscopy. Sugimoto et al. *Nature* 446, 64-67 (2007).

- D. Olea, S. Alexandre, P. Amo-Ochoa, A. Guijarro, F. de Jesús, J. Soler, P. de Pablo, F. Zamora, J. Gómez-Herrero, From coordination polymer macrocrystals to nanometric individual chains, *Advanced Materials* 14 (2005) 1761-1765.



- 
- E. Barrena, E. Palacios, C. Munuera, X. Torrelles, S. Ferrer, U. Jonas, M. Salmeron, and C. Ocal, The Role of Intermolecular and Molecule-Substrate Interactions in the Stability of Alkanethiol Nonsaturated Phases on Au(111), *Journal of American Chemical Society* 126 (2004) 385.
  - M. Tello, R. Garcia, J.A. Martín-Gago, N. Martínez, M. Martín-González, L. Aballe, A. Baranov, and L. Gregoratti, Bottom-up fabrication of carbon-rich silicon carbide nanowires by manipulation of nanometer-sized ethanol menisci, *Advanced Materials* 17 (2005) 1480-1483.
  - F. Calleja, M. Passeggi, J. Hinarejos, A. Vazquez, and R. Miranda, Real-space direct visualization of the layer-dependent roughening transition in nanometer-thick Pb films, *Physical Review Letters* 97 (2006) 186104.
  - C. Gomez-Navarro, P. De Pablo, J. Gomez-Herrero, B. Biel, F.J. Garcia-Vidal, A. Rubio, and F. Flores, Tuning the conductance of single-walled carbon nanotubes by ion irradiation in the Anderson localization regime, *Nature Materials* 4 (2005) 534-539.
  - O. Paz, I. Brihuega, J.M. Gomez-Rodriguez, and J.M. Soler. Tip and surface determination from experiments and simulations of scanning tunneling microscopy and spectroscopy, *Physical Review Letters* 94 (2005) 056103.
  - D. Garcia-Sanchez, A. San Paulo, M. Esplandiu, F. Perez-Murano, L. Forró, A. Aguasca, and A. Bachtold. Mechanical Detection of Carbon Nanotube Resonator Vibrations, *Physical Review Letters* 99 (2007) 085501.
  - J. Méndez, R. Caillard, G. Otero, N. Nicoara, and J. A. Martín-Gago, "Nanostructured organic materials: From molecular chains to organic nanodots", *Advanced Materials* 18 (2006) 2048-2052.
  - J. Repp, G. Meyer, F. Olsson, M. Persson, Controlling the Charge State of Individual Gold Adatoms, *Science* 305, 493 - 495 (2004).
  - A. Heinrich, J. Gupta, C. Lutz, D. Eigler, Single-Atom Spin-Flip Spectroscopy, *Science* 306, 466 - 469 (2004).
  - R. Temirov, S. Soubatch, A. Luican and F. Tautz, Free-electron-like dispersion in an organic monolayer film on a metal substrate, *Nature* 444, 350-353 (2006)
  - G. Karapetrov, J. Fedor, M. Iavarone, M. Marshall, Imaging of vortex states in mesoscopic superconductors, and R. Divan, *Appl. Phys. Lett.* 87, 162515 (2005).
  - J. Theobald, N. Oxtoby, M. Phillips, N. Champness and P. Beton, Controlling molecular deposition and layer structure with supramolecular surface assemblies, *Nature* 424 (2003) 1029-1031.
  - S. Stepanow, M. Lingenfelder, A. Dmitriev, H. Spillmann, E. Delvigne, N. Lin, X. Deng, C. Cai, J. Barth and K. Kern, Steering molecular organization and host-guest interactions using two-dimensional nanoporous coordination systems, *Nature Materials* 3 (2004) 229-233.
  - P. Piva, G. Dilabio, J. Petters, J. Zikowski, M. Rezeq, S. Dogel, W. Hofer and R. Wolkow, Field regulation of single-molecule conductivity by a charged surface atom, *Nature* 435, 658 (2005).
  - J.V. Barth, G. Costantini, and K. Kern, Engineering atomic and molecular nanostructures at surfaces, *Nature* 437, 671 (2005).
  - N. Weiss, T. Cren, M. Epple, S. Rusponi, G. Baudot, S. Rohart, A. Tejada, V. Repain, S. Rousset, P. Ohresser, F. Scheurer, P. Bencok and H. Brune, Uniform Magnetic Properties for an Ultrahigh-Density Lattice of Noninteracting Co Nanostructures, *Physical Review Letters*, 95 (2005) 157204.
  - D. Olea, S. Alexandre, P. Amo-Ochoa, A. Guijarro, F. de Jesús, J. Soler, P. de Pablo, F. Zamora, J. Gómez-Herrero, From coordination polymer macrocrystals to nanometric individual chains, *Advanced Materials* 14 (2005) 1761-1765.

- G. V. Nazin, X. H. Qiu, and W. Ho, Visualization and Spectroscopy of a Metal-Molecule-Metal Bridge, *Science* 302, 77-81 (2003).
- R. Schaub, E. Wahlström, A. Rønnau, E. Lægsgaard, I. Stensgaard, and F. Besenbacher, Oxygen-Mediated Diffusion of Oxygen Vacancies on the TiO<sub>2</sub>(110) Surface, *Science* 299, (2003).
- C. Durkan and M. Welland. Electronic spin detection in molecules using scanning-tunneling- microscopy-assisted electron-spin resonance, *Applied Physics Letters* 80, 458–460 (2002).
- P. Zhang, A. Keleshian, and F. Sachs, Voltage-induced membrane movement, *Nature* 413, 428–432 (2001).
- C. Barth and C. Henry, Atomic Resolution Imaging of the (001) Surface of UHV Cleaved MgO by Dynamic Scanning Force Microscopy, *Phys. Rev. Lett.* 91, 196102 (2003).

## 5. Proyectos

### España

- Proyectos de la Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología del Plan Nacional de I + D + i.

## 6. Infraestructura necesaria para cumplir objetivos (2008-2011)

- Fomentar las estructuras ya existentes:
  - Red NanoSpain: <http://www.nanospain.org>
  - Plataformas Tecnológicas
- Crear bases de datos (actualizar las existentes) de investigadores y empresas interesadas y cuales son sus necesidades. Divulgarlas, ponerlas a disposición de las personas o entidades que las requieran.
- Organizar encuentros ciencia-industria.
- Subvencionar líneas de investigación de vanguardia, grupos emergentes con ideas nuevas.

## 7. Grupos españoles más relevantes

- N. Agraït (AFM), UAM Madrid: [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/agrait](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/agrait)
- A. Asenjo (MFM), ICMM-CSIC Madrid: <http://www.icmm.csic.es/asenjo>
- A. Baró (AFM), ICMM-CSIC Madrid
- J. Iribas-Cerdá (teoría), ICMM-CSIC Madrid: <http://www.icmm.csic.es/jcerda>
- J. Colchero (AFM), Universidad de Murcia
- J. Fraxedas (STM), ICMA-B-CSIC Barcelona: <http://www.icmab.es/icmab>
- R. García (AFM), IMM-CSIC Madrid: <http://www.imm.cnm.csic.es/spm>
- J. Gómez-Herrero (AFM), UAM Madrid: <http://www.uam.es/departamentos/ciencias/fismateriac/especifica/NuevasMicroscopieswebpage>
- J. Gómez-Rodríguez (STM), UAM Madrid (ver anterior)
- L. Lechuga (AFM), Barcelona: <http://www.imm.cnm.csic.es/biosensores/people.htm>



- J. Méndez / J.A. Martín-Gago (STM), ICMM-CSIC Madrid:  
<http://www.icmm.csic.es/esisna>
- C. Ocal (AFM), ICMA-B-CSIC Barcelona: <http://www.icmab.es/icmab>
- E. Ortega (STM), País Vasco: <http://www.sc.ehu.es/waporcoj/ortega.html>
- J. Sáenz (teoría), UAM Madrid: <http://www.uam.es/gruposinv/MoLE>
- F. Sanz (AFM), UB Barcelona: <http://www.qf.ub.es/a2/staff/fsanz.html>
- A. Vázquez de Parga (STM) UAM Madrid: <http://lasuam.fmc.uam.es/lasuam>
- L. Vázquez (AFM), ICMM-CSIC Madrid
- F. Pérez-Murano (AFM), IMB-CNM Barcelona
- M. Luna (AFM), IMM-CNM Madrid
- D. Navajas (AFM), UB Barcelona
- R. Pérez / F. Flores (teoría), UAM Madrid:  
[http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/ruben](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/ruben)
- J. M. Soler (teoría), UAM Madrid:  
[http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/jsoler](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jsoler)

### **Españoles en el extranjero**

- E. Barrena, Alemania:  
[www.mf.mpg.de/en/abteilungen/dosch/secretary/staff/barrena.shtml](http://www.mf.mpg.de/en/abteilungen/dosch/secretary/staff/barrena.shtml)
- O. Custance, Japón [www.afm.eei.eng.osaka-u.ac.jp/oscar/Pages](http://www.afm.eei.eng.osaka-u.ac.jp/oscar/Pages)
- M. García, Francia
- N. Lorente, Francia (recientemente incorporado al ICMA-B, Barcelona):  
[www.car8.ups-tlse.fr/lorente/lorenteEnglish.html](http://www.car8.ups-tlse.fr/lorente/lorenteEnglish.html)
- J. I. Pascual, Alemania

### **Grupos europeos más relevantes**

- F. Besenbacher, Aarhus University Dinamarca: <http://www.ifa.au.dk/camp>
- G. Meyer, IBM Suiza: <http://www.zurich.ibm.com>
- J. Wintterlin, LMU Munich: <http://www.cup.uni-muenchen.de/pc/wintterlin>
- H. Brune, EPFL Lausanne Suiza: <http://ipnwww.epfl.ch>
- K. Kern, MPI-Stuttgart: <http://www.mpi-stuttgart.mpg.de/kern>
- K. Rieder, Frei University Berlin: <http://www.physik.fu-berlin.de/~ag-rieder>
- Ch. Joachim (teoría), CNRS Francia: [http://www.cemes.fr/r1\\_lab0](http://www.cemes.fr/r1_lab0)
- J. Frenken, AMOLF Holanda: <http://www.physics.leidenuniv.nl/sections/cm>
- H. Guntherodt, Basel University Suiza: <http://monet.physik.unibas.ch/gue>
- H. Neddermeyer, ML-University Halle Alemania:  
<http://www.physik.uni-halle.de/Fachgruppen/ep3>
- R. Berndt, Kiel Alemania: <http://www.ieap.uni-kiel.de/surface/ag-berndt>
- W. Schneider, Laussane Suiza: <http://ipn.epfl.ch/page38310.html>
- R. Wisendanger, Hamburgo: <http://www.nanoscience.de>
- P. Varga, Viena: <http://www.iap.tuwien.ac.at/www/surface>
- Voigtländer, Jülich Alemania: <http://www.fz-juelich.de/video/voigtlaender>
- P. Samori, CNR Bolonia y CNRS Estrasburgo:  
<http://www.isof.cnr.it/ppage/samori/paolo1.htm>
- J. Rabe, Berlin: <http://www.physik.hu-berlin.de/pmm>
- C. Dekker, Delft Holanda: <http://www.ceesdekker.net>
- P. Hinterdorfer, Linz Austria: <http://www.bphys.uni-linz.ac.at/bioph/res/afm>
- H. Gaub, Munich: <http://www.biophysik.physik.uni-muenchen.de>
- P. Unwin & J. Macpherson, Warwick UK:  
<http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/chemistry/cim/research/electrochemistry>

- K. Morgenstern, Hannover: <http://www.fkp.uni-hannover.de/en>
- Ch. Gerber, Basel Suiza: <http://monet.physik.unibas.ch/nose/ChGerber>
- H. Fuchs, Münster Alemania: <http://www.uni-muenster.de/Physik.PI/Fuchs>

## 8. Iniciativas relevantes (Plataformas Tecnológicas, etc.)

### España

- Nanospain: <http://www.nanospain.org>
- M4Nano (simulación): <http://www.m4nano.com>
- Red de Dispositivos Orgánicos: <http://www.elp.uji.es/reddisporg.htm>
- Madri+d: <http://www.madrimasd.org>
- Conferencias "Fuerzas y Túnel": <http://www.fyt08.org>
- Etc.

### Europa

- Fundación Phantoms: <http://www.phantomsnet.net>
- Cordis: <http://cordis.europa.eu/es/home.html>
- E-Nano newsletters:  
<http://www.phantomsnet.net/Foundation/newsletters.php>
- Etc.

## 9. Conclusiones

La producción científica española en el área de la microscopía de campo cercano SPM es algo inferior a la que le corresponde en cuanto a la situación económica (posición duodécima frente a la octava o novena [<http://web.worldbank.org>]). En inversión I+D estamos a la cola de Europa (1.2% del PIB frente a 1.8% de media en Europa). Se deben realizar inversiones en líneas de investigación estratégicas. Estas deben ser temas de vanguardia y las inversiones deben recaer en grupos emergentes y jóvenes investigadores con iniciativa y ambición.

Las posibles líneas estratégicas en el área del SPM pueden ser:

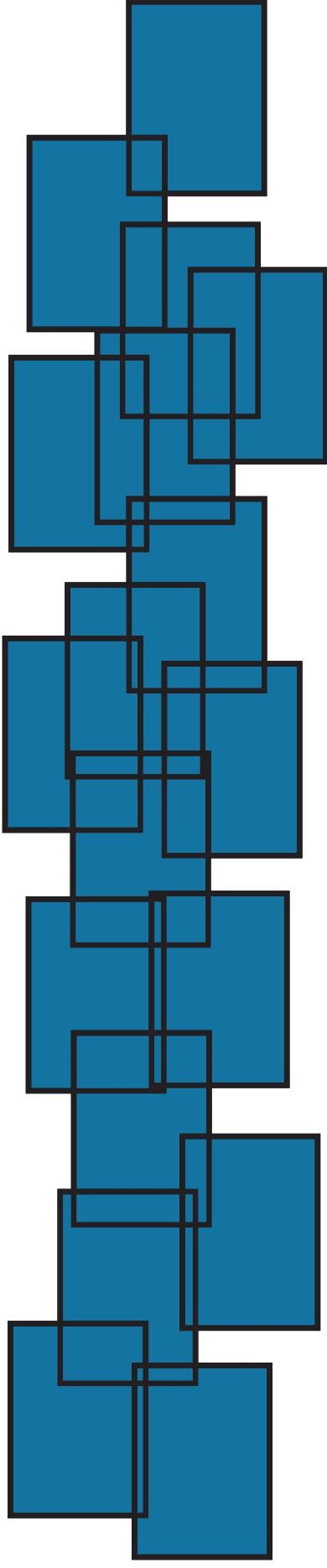
- Materiales Orgánicos.
- Microscopía de Fuerzas en modo no contacto.
- Biosensores, Nanobiotecnología.
- Nuevas microscopías de campo cercano.

Se deben realizar acciones para hacer confluir ciencia e industria. Para ello el Estado debe actuar de intermediario, realizando encuentros entre científicos y empresarios. Además, se deben potenciar las plataformas y estructuras existentes. Éstas deben recopilar y manejar la información necesaria (bases de datos de científicos y técnicas, necesidades de las empresas) y ponerla a disposición de quién la requiera.





# NANBIOTECNOLOGÍA Y NANOMEDICINA





## Josep Samitier

**Lugar y fecha de nacimiento:** 12 de Julio de 1960

**Formación:** Licenciado en Física por la Universidad de Barcelona en 1982. Cuatro años después se doctoró en esta misma universidad.

**Carrera Profesional:** Josep Samitier, Catedrático de Física de la Universidad de Barcelona. Director del Laboratorio de Investigación en Nanobioingeniería del Instituto de Bioingeniería de Cataluña situado en el Parque Científico de Barcelona. Director adjunto del CIBER en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina y coordinador de la Plataforma Tecnológica de Nanomedicina.



## 1. Introducción

Las nanotecnologías, caracterizadas por el control de las propiedades de los materiales y dispositivos en la escala de la millonésima de milímetro, y la consiguiente ciencia, tecnología y comercialización que se desarrollan alrededor de ellas en el mundo son ya una realidad. En el año 2004, gobiernos, empresas e inversores de todo el mundo gastaron conjuntamente más de 8,6 miles de millones de dólares en I+D+i en nanotecnología. Desde que Nikolai Kondraieff publicó su teoría de ciclos económicos "long waves" en el año de 1926 momento en el que aún estaba vigente el ciclo de las industrias químicas y de la electricidad, se han sucedido dos ciclos más que podemos asignar al automóvil y a la electrónica y las tecnologías de la información y de las comunicaciones. La nanotecnología es una firme candidata, según diferentes expertos, para iniciar un sexto ciclo Kondratieff, posiblemente en combinación con la biotecnología. El hecho de que se señale la nanotecnología como serio aspirante a liderar este ciclo, se debe a que las potenciales aplicaciones de la nanotecnología se encuentran en todos los sectores.

Sin embargo, la nanotecnología está aún en la frontera entre la realidad científica y los análisis de prospectiva a largo plazo, entre los primeros resultados y las expectativas de futuro. Hay que tener en cuenta que con el término nanotecnología no nos referimos a un único concepto, sino que se trata de un conjunto de diferentes tecnologías y enfoques.

La nanobiotecnología o aplicaciones de la nanotecnología a los sistemas biológicos tiene su área de aportación en medicina mediante nuevos sistemas de diagnóstico tanto a nivel molecular como por técnicas de imagen, nuevas terapias más selectivas y eficientes y como soporte tecnológico a la medicina regenerativa. Así mismo, parte de estos descubrimientos tendrá también influencia en la industria agrícola y de la alimentación.

En particular, la Nanomedicina es un ámbito de investigación científico y tecnológico interdisciplinario que pretende mediante el desarrollo y la aplicación de la nanotecnología, mejorar el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades y lesiones traumáticas, así como preservar y mejorar la salud y calidad de vida. Para ello, la Nanomedicina pretende mejorar el conocimiento y comprensión del cuerpo humano a nivel molecular con el fin de poder analizar, supervisar, controlar, reparar, reconstruir y mejorar cualquier sistema biológico humano. La Nanomedicina estudia las interacciones a la nanoescala (1 a 100 nanómetros) y para ello desarrolla y utiliza dispositivos, sistemas y tecnologías que incluyen nanoestructuras capaces de interactuar a escala molecular y que se interconectan en su caso con microsistemas para interactuar a nivel celular o subcelular.

Desde el punto de vista de la aplicación, la Nanomedicina en estos momentos se focaliza en tres grandes ejes transversales con independencia de las patologías: mejora del diagnóstico tanto in-vivo como in-Vitro, desarrollo de nuevos sistemas más efectivos de suministro y dosificación de fármacos, y desarrollo de tecnologías para la ingeniería tisular y la medicina regenerativa.

La Nanomedicina constituye un paradigma de investigación translacional, ya que requiere desde la investigación fundamental proveniente de la Química, Física o Biología, la investigación aplicada de Ciencia y Tecnología de Materiales, Farmacología, Bioelectrónica e Ingeniería Biomédica y la Investigación Médica





Clínica. Este hecho implica necesidades de formación nuevas dirigidas no sólo a estudiantes, investigadores o profesiones del sector sanitario, sino también al público en general, para que pueda tener un conocimiento suficiente tanto de las perspectivas como de las limitaciones o de los riesgos asumibles que en este momento tienen las diferentes líneas de investigación que se incluyen en la nanomedicina. En este sentido, es muy conveniente la implicación de los agentes reguladores de las tecnologías sanitarias en el desarrollo de la nanomedicina.

## 2. Estado del arte general

A causa de este impacto esperado de la nanotecnología, es conveniente ver los volúmenes de mercado esperados según diferentes fuentes. Muchos de los análisis de mercado se originan a partir del año 2000 con un horizonte esperado hasta el 2015. La National Science Foundation en el año 2001 estimó que el mercado mundial para los productos nanotecnológicos sería de 1 billón de dólares para el 2015 (1 trillón US dollars). Es cierto que dependiendo de la definición de nanotecnología y su contribución al valor final del producto, así como al grado de optimismo, podemos encontrar cifras más moderadas como los 150.000 millones de dólares en el 2010 (Mitsubishi Institute 2002) y los 2,6 billones de dólares en el 2014 /Lux Research 2004). Para el año 2007, se estima que el mercado mundial de liberación de fármacos facture 70 billones €, se espera que el mercado de la regeneración de tejidos llegue a 100 billones € para el 2010, y se prevé que en diez años el mercado global del nanodiagnóstico alcance los 22 billones €. En España existe una intensa actividad científica en nanomedicina y el entorno empresarial está representado fundamentalmente por la industria farmacéutica y biotecnológica. El sector farmacéutico español reconoce mayoritariamente las ventajas de esta innovación y es el que mayores iniciativas desarrolla en el sector del diagnóstico y la liberación de fármacos. Es interesante ver la evolución prevista de la influencia de la nanotecnología y del impacto en el mercado mundial en el caso de las aplicaciones de liberación de fármacos.

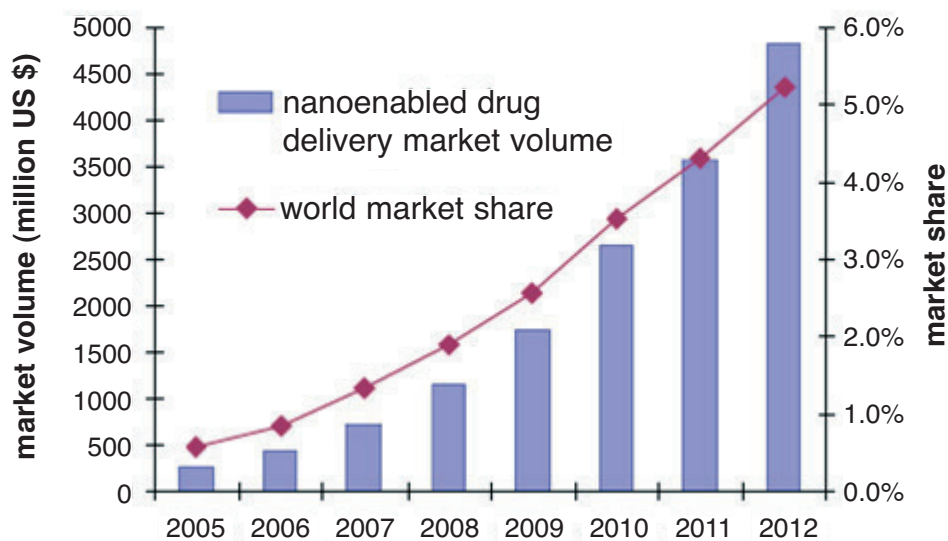


Figura 1. Mercado y cuota de mercado mundial para fármacos basados en nanotecnología (fuente Moradi 2005)

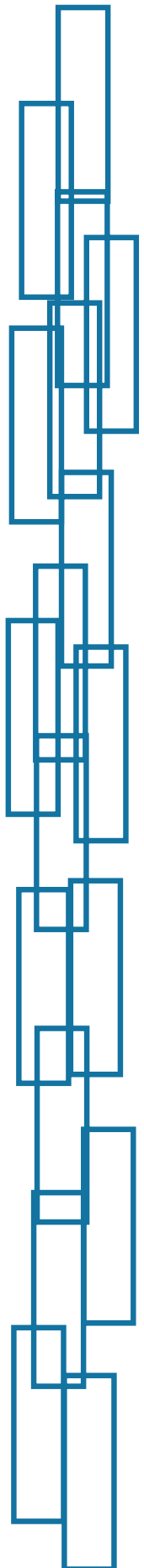
En los últimos tiempos, diversos informes publicados han realizado un análisis y prospectiva del futuro de la nanomedicina. Así tenemos los documentos elaborados por la plataforma europea de nanomedicina en septiembre del 2005 "*visión paper and basis for a strategic reserach agenda for nanomedicine*" y en Noviembre del 2006 "*Nanomedicine, nnaotechnology for health*". El documento elaborado por la European Science Fundation "*ESF forward look on Nanomedicine*" del 2005 o el Euronanoforum del 2005 dedicado a "*Nanotechnology and the health of the EU Citizen in 2020*". A nivel español tenemos la "*Vision estratégica de la Nanomedicina en España*" de septiembre de 2006, realizado por la plataforma española de nanomedicina, el informe de Vigilancia Tecnológica *sobre "Nanomedicina de Madri+d"* y previamente los análisis elaborados bajo el auspicio de la FECYT y realizados por el *Spanish NanoTechnology Think Tank (SNT<sup>3</sup>) de 2004* celebrado en El Escorial y el (*SNT<sup>3</sup>) de 2005* celebrado en Barcelona, ambos bajo la coordinación de los parques científicos de Madrid y Barcelona. Así mismo, en 2006 se publicó dentro de la colección EOI Programa desafíos, el informe Convergencia NBIC 2005 "*El desafío de la Convergencia de las Nuevas Tecnologías Nano-Bio-Info-Cogno*".

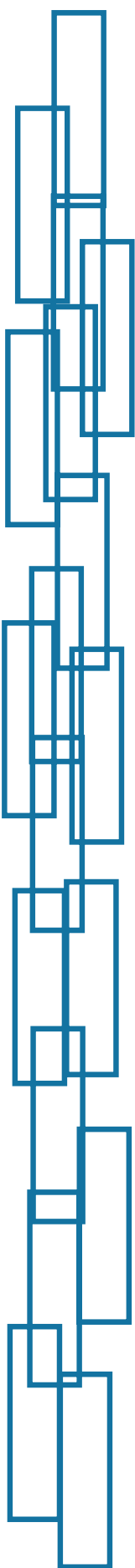
El Nanodiagnóstico posibilita la identificación de enfermedades o de la predisposición a las mismas a nivel celular o molecular mediante la utilización de nanodispositivos. Bajo este concepto se unifica la necesidad social y clínica junto con la capacidad tecnológica para detectar enfermedades en el estadio más temprano posible, así como la necesidad de detectar potenciales efectos indeseables de los fármacos antes de su prescripción. Se consideran dos grandes ámbitos de aplicación de las nanotecnologías al diagnóstico, el diagnóstico *in vitro* y el diagnóstico *in vivo*.

Los diagnósticos *in vitro* realizados mediante el uso de nanotecnología pueden ser llevados a cabo mediante biosensores o dispositivos integrados conteniendo muchos sensores. Un biosensor contiene un determinado receptor biológico, como puede ser una enzima o un anticuerpo, capaz de detectar la presencia o concentración de una sustancia de forma específica y traducir dicha interacción a través de un transductor que transforma la señal bioquímica en una señal cuantificable. Entre este tipo de dispositivos pueden citarse nanoestructuras fabricadas mediante técnicas litográficas, que pueden ser revestidas con biomoléculas capaces de unirse a sustratos específicos (proteínas, ADN complementario a una determinada secuencia genética y, en general, moléculas que participan en fenómenos de adhesión y de reconocimiento receptor-ligando), dispositivos nanométricos capaces de servir como plataforma de diagnóstico para poder detectar biomarcadores con mayor sensibilidad de la que se puede obtener con los métodos actuales, o nanocristales de material semiconductor (llamados *quantum dots*), que unidos a un anticuerpo u otra biomolécula capaz de ligarse a la molécula de interés, actúan como fuente de luz indicadora de la presencia de dicha molécula.

Los sistemas más sofisticados en este ámbito son los llamados *biochips* o dispositivos *lab-on-a-chip* que incorporan sistemas de microfluídica, biosensores y otros componentes integrados de excitación, lectura y análisis en un único dispositivo.

En el ámbito del nanodiagnóstico *in vivo*, la aplicación con más proyección es la mejora del diagnóstico por imagen que permita alcanzar el nivel molecular. La imagen molecular se define como la medida, caracterización y diagnóstico *in vivo* de





procesos biológicos celulares o moleculares a través de imágenes generadas mediante la utilización conjunta de nuevos agentes moleculares y técnicas de imagen médica tradicionales. Para visualizar moléculas específicas *in vivo* es necesario que se cumplan una serie de requisitos, como son: disponibilidad de nanodispositivos o ligandos de alta afinidad para la molécula con una farmacodinámica adecuada; capacidad de alcanzar el objetivo en una concentración y durante un tiempo suficiente para ser detectable en la imagen; utilización de estrategias químicas o biológicas de amplificación; disponibilidad de técnicas de imagen con suficiente sensibilidad, resolución y velocidad.

El segundo ámbito de la Nanomedicina, la aplicación de nuevas tecnologías a la medicina Regenerativa es un área emergente que busca la reparación o reemplazamiento de tejidos y órganos mediante la aplicación de métodos procedentes de Terapia Génica, Terapia Celular, Dosificación de Sustancias Bioregenerativas e Ingeniería Tisular fundamentalmente. La Terapia Génica se basa en la utilización de células genéticamente modificadas, la Terapia Celular utiliza células troncales y células primarias. La Ingeniería Tisular combina la utilización de células vivas y biomateriales que actúan como andamiaje en la reconstrucción realizando las funciones de la matriz extracelular del tejido. Los biomateriales utilizados en Ingeniería Tisular han sufrido una clara evolución. Comenzaron siendo materiales inertes para el organismo (biomateriales de primera generación: período 1960-70), para después pasar a ser materiales bioactivos y/o biodegradables, (biomateriales de segunda generación: período 1980-90). Actualmente, los materiales que se utilizan son los denominados de tercera generación, aquellos capaces de mimetizar respuestas celulares específicas a nivel molecular.

Los primeros productos de Ingeniería Tisular ya se encuentran actualmente en el mercado, otros muchos se encuentran en fases avanzadas de desarrollo y muchas empresas tanto americanas como europeas están involucradas en tales tareas. Respecto a la información sobre la situación en Europa el informe publicado en 2003 por la Comisión Europea "*Human tissue engineered products – Today's markets and future prospects*" constituye el primer trabajo que ofrece una visión general de las distintas empresas en Europa que trabajan en el área de ingeniería tisular, los productos actualmente comercializados, las actividades de investigación y los factores que influyen en el desarrollo del sector.

Por último, tenemos las aplicaciones de la nanotecnología para desarrollar nuevos sistemas de liberación de fármacos. Hoy en día, para conseguir terapias efectivas y eficaces no sólo es necesario disponer de moléculas con actividad farmacológica (molécula activa o fármaco), sino que el vehículo, soporte o sistema en el que dichas moléculas van incorporadas desarrolla un papel fundamental en el éxito final del medicamento. En este sentido, los nuevos sistemas de liberación de fármacos (*Drug Delivery Systems*) han permitido que dispongamos actualmente de tratamientos más selectivos y potentes mejorando el ratio eficacia/toxicidad del actual y del futuro arsenal terapéutico. Cuando la Nanotecnología se aplica al diseño y desarrollo de sistemas de liberación de fármacos surge un área de investigación cuyo fin último es la generación de *Nanosistemas Terapéuticos*.

Las principales ventajas que se pretende conseguir con el diseño de Nanosistemas Terapéuticos se centran en la obtención de:

- Fármacos más selectivos y eficaces y, por tanto, menos tóxicos, mediante estrategias de orientación selectiva, tanto activa (e.j. sistemas de liberación que se dirige de forma selectiva a una célula gracias a anticuerpos) o pasiva (e.j. sistemas de liberación que se acumulan en un órgano o tejido debido a cambios fisiológicos del mismo como un aumento de la vascularización tisular local).
- Fármacos más fáciles de administrar, es decir, que puedan ser administrados por una vía cómoda (oral, nasal, pulmonar...), evitando las formas inyectables u otras rutas invasivas. Ello se consigue mediante el desarrollo de nanosistemas capaces de promover la absorción de fármacos por vías mucosas. Aquí se incluye la posibilidad de desarrollar nuevas vacunas no inyectables.
- Nuevos fármacos o terapias que no serían viables de no disponer de un nanosistema que los solubilice o los proteja. Este último caso es el de los denominados biofármacos, o fármacos de origen biotecnológico, entre los que se incluyen péptidos, proteínas, anticuerpos y nuevas terapias basadas en ácidos nucleicos (DNA, siRNA, oligonucleotidos...).

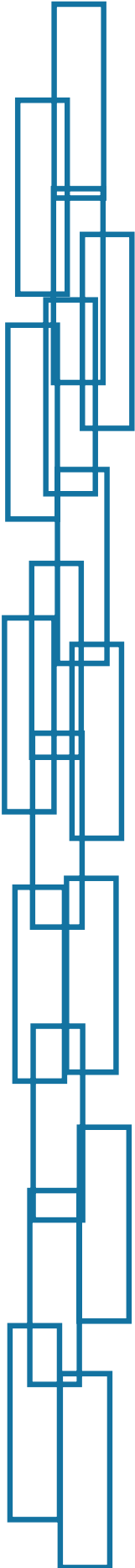
En cuanto a la utilización clínica de estos nanosistemas, cabe destacar que algunos de ellos se encuentran actualmente en el mercado o en avanzado estado de desarrollo clínico, bien como radiofármacos o como nanosistemas de orientación selectiva de fármacos. Podemos citar a modo de ejemplo liposomas de doxorrubicina (Doxil ®), nanopartículas de albúmina y taxol (Abraxane ®), conjugados con anticuerpos (Mylotarg ®) para tratamiento del cáncer. Un dato revelador de la importancia actual de los *Nanosistemas Terapéuticos* es el hecho de que del total de los nuevos compuestos para el tratamiento del cáncer en evaluación clínica actualmente a nivel mundial (cerca de 400 compuestos) un 10% son fruto de distintas nanotecnologías aplicadas a la liberación de fármacos.

### 3. Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2008-2011

Hemos desglosado las actividades a desarrollar según los diferentes ámbitos que hemos comentado anteriormente:

#### ➤ En el caso del diagnóstico *in vitro*

- Confeccionar un catálogo abierto de equipos de trabajo pertenecientes a centros públicos y empresas privadas que trabajen en nanotecnología para su divulgación entre sus componentes.
- Confeccionar una lista de demandas diagnósticas no resueltas y/o mejorables, tanto desde el punto de vista de la enfermedad en ella misma, de la actividad farmacológica del fármaco utilizado (o en desarrollo), y de los efectos indeseables, susceptibles de ser satisfechas mediante utilización de herramientas basadas en la nanotecnología.
- Involucrar al estamento médico para información y futura participación en el diseño y validación de herramientas diagnósticas basadas en nanotecnología. Es vital entender antes y durante el diseño de las tecnologías las necesidades clínicas específicas para cada patología:



técnicas cualitativas o cuantitativas, niveles de sensibilidad necesarios, costes, complejidad máxima tolerada, asociación diagnóstico y terapia.

- Búsqueda y validación de nuevos biomarcadores, incluyendo marcadores no invasivos y desarrollo de biosensores específicos para la detección de dichos marcadores. Así, se podrían usar sistemas directos de detección que suministren medidas *online*, tecnologías no-invasivas en tiempo real, y que cuantifiquen los fluidos biológicos sin necesidad de calibración.
- Mejorar los métodos de detección, preparación y manipulación de las muestras (microfluídica).
- Desarrollar nuevas estrategias de inmovilización y de protección, para permitir biosensores completamente reversibles y regenerables y que puedan operar *in situ* en muestras y que sean biocompatibles para operar *in vivo*.
- Buscar nuevos métodos de transducción en biosensores y mejorar los ya existentes con el fin de obtener tiempos de respuesta cortos, con aplicabilidad en continuas tomas de medida.
- Mejorar los procesos de fabricación incrementando la densidad de dispositivos en una única plataforma a través de técnicas de nanolitografía, manejo eficaz de nanovolúmenes, multi-sensores capaces de medir varios parámetros de una sola muestra, sistemas de diagnóstico integrados con terapia.
- Mejorar las técnicas de química de superficies como pueden ser la creación de nuevas funcionalidades mediante la modificación superficial, la inmovilización de las biomoléculas en micro/nanosuperficies conductoras, el autoensamblaje (*Self-assembled Monolayers* SAM) de las biomoléculas en una superficie metálica con un mejor contacto con el transductor o el uso de polímeros de huella molecular (Molecular Imprinted Polymers o MIPs) específicos para una molécula determinada (ej. anticuerpos, enzimas...).
- Integrar los sistemas en un único dispositivo integrado constituyendo los llamados **biochips** o dispositivos **lab-on-a-chip**, capaces de proporcionar un diagnóstico rápido y completo a partir de una muestra sin tratamiento previo.

➤ En el caso de Nanoimágenes *in vivo*

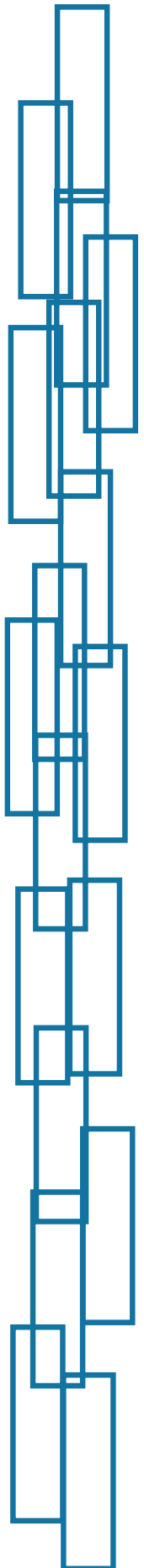
- Mejorar las nanotécnicas actuales para la detección de los estadios iniciales de una enfermedad, su evolución y los efectos del tratamiento.
- Mejorar las técnicas de imagen molecular para el estudio de procesos celulares y moleculares *in vivo*, ya sean estos patológicos o no. Esto incluye el aumento de la resolución de las imágenes, de la sensibilidad de los sistemas de adquisición y la mejora de las técnicas basadas en agentes de contraste.

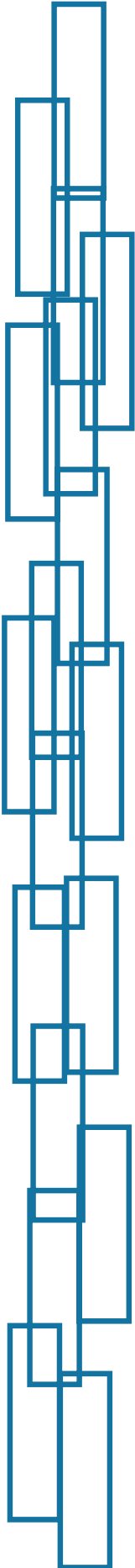
- Identificar nuevos *targets* biológicos susceptibles de ser visualizados mediante imagen molecular.
- Desarrollar sistemas de generación de imágenes con mayor resolución y sensibilidad (ej. micro-CT, micro-MRI); técnicas de fusión de imágenes multimodalidad (MRI-PET, SPECT-CT, etc.); sistemas y algoritmos automáticos de análisis de imagen; caracterización y cuantificación de los procesos detectables en dichas imágenes; nuevas técnicas de visualización como imagen estéreo, reconstrucción 3D realidad virtual y aumentada, técnicas de imagen óptica *in vivo*, etc.
- Transferir progresivamente la investigación en imagen molecular desde los actuales modelos animales a aplicaciones clínicas reales en humanos.
- Diseñar nanotécnicas *in vivo* no invasivas con gran sensibilidad y fiabilidad y altamente reproducibles, que se utilicen como señal de alarma de los síntomas previos o en los primeros estadios de una enfermedad. Entre los retos se incluye la detección simultánea de múltiples moléculas, el análisis de todos los componentes a nivel subcelular y el reemplazo de los anticuerpos por otro tipo de técnicas como agentes de detección.
- Diseñar y desarrollar materiales nanoestructurados (materiales nanoparticulados, nanoemulsiones, nanocápsulas, sistemas vesiculares, etc.) que permitan la obtención de nuevos agentes de contraste más eficientes, más selectivos y menos tóxicos.

➤ En el caso de medicina regenerativa

Existen múltiples conceptos de alto potencial para la medicina regenerativa que conllevan a la investigación tanto básica como aplicada no sólo en desarrollos biológicos y con células troncales sino también en el área de biomateriales.

- Utilización de células troncales adultas.
- Ampliar el conocimiento sobre el control básico de la función y desarrollo celular.
- Mejorar las estructuras tisulares tridimensionales por control de la porosidad, hidratación, superficie de contacto y propiedades mecánicas.
- Nanofabricación y control topográfico de la superficie. Control a nivel nano y micrométrico.
- Mimetizar el tejido objetivo desarrollando nanocapas tisulares y membranas atendiendo a las condiciones fisiológicas y mecánicas del tejido. Nuevas tecnologías que aporten liberación controlada de fármacos, monitorización *in situ* y auto reparación.
- Generación de tejido óseo con mejor vascularización y cartílago con mejores características mecánicas.
- Sustitutos de piel con dermis y epidermis.



- 
- Productos IT para regeneración de tejido cardíaco (válvulas y músculo) y tejido nervioso, hígado artificial, membranas mono - o bicapas, córneas y tráqueas artificiales, etc.
  - Identificación de pautas genéticas, moleculares y de señalización relacionadas con la pérdida de función y procesos degenerativos para un mejor diseño de los sistemas terapéuticos opcionales.
  - Desarrollo de matrices que ejerzan de andamiaje para las células y realicen además funciones bioactivadoras que favorezcan la interacción material-tejido.
  - Síntesis de nuevos materiales. Materiales que mejoran la integración y las propiedades biomecánicas o añaden nuevas funciones como propiedades adhesivas, propiedades tejido-inductoras, etc.
  - Modificación de superficies, tanto en forma de recubrimientos como en la funcionalización de superficies y en su control topográfico.
  - Nanofabricación: control topográfico de la superficie, diseños matriciales con control nanométrico.
  - Desarrollo de modelos experimentales *in vivo* (animales transgénicos ajustados a patologías objetivo, diversos modelos de cirugía experimental que reproduzcan diferentes tipos de lesiones).
  - Desarrollo de protocolos de caracterización a nivel nanométrico de los autores responsables en el proceso de regeneración (componentes biológicos y/o materiales).

➤ En el caso de los Nanosistemas Terapéuticos

Están diseñados para ser administrados por distintas vías:

- la vía oral, con una importante presencia de conjugados proteína, péptido / molécula activa y distintas variedades de nanopartículas.
- la vía intravenosa en donde destacan los sistemas tipo liposomas o nanosistemas modificados en superficie con anticuerpos, proteínas y péptidos para una vectorización activa.
- la vía pulmonar en donde se concentra la mayor variedad de sistemas y supone aproximadamente un 30% del mercado de los sistemas de liberación de fármacos.

Los principales campos de investigación y aplicación de estos Nanosistemas se orientan al desarrollo de vectores efectivos para enfermedades de difícil curación y de importante incidencia: cáncer (vectorización tumoral selectiva), enfermedades neurodegenerativas (paso a través de la barrera hematoencefálica) y enfermedades cardiovasculares. En estas áreas se dedican actualmente importantes esfuerzos a la conjugación de anticuerpos a sistemas como nanopartículas y liposomas con el propósito de conseguir el transporte del fármaco de forma selectiva y eficaz.

Las propiedades especiales asociadas al tamaño nanométrico (escala a la que las macromoléculas celulares “dialogan” entre sí) confieren a los nanosistemas propiedades inmunogénicas antes insospechadas, que abren una vía muy importante de desarrollo de vacunas en sistemas no inyectables.

Los aspectos en los que se debe focalizar el diseño y desarrollo futuro de los *Nanosistemas Terapéuticos* son:

- Nanosistemas que transporten y liberen del fármaco de forma selectiva en el órgano, tejido y célula diana.
- Diseño de nanosistemas seguros y eficaces.
- Sistemas de liberación que agilicen el desarrollo de fármacos seguros.
- Promover la colaboración de los centros públicos y empresas trabajando en Tecnología Farmacéutica y Biofarmacia, Ciencia y Tecnología de Materiales, Química Orgánica, Física Aplicada, Nanociencia, Biología celular, Fisiología, Inmunología, Farmacología Bioquímica, Biología Molecular e Investigación Clínica para encontrar sinergias y establecer proyectos con objetivos en el diseño y desarrollo de Nanofármacos.
- Promover el diseño de nuevos materiales, polímeros sintéticos o semisintéticos, metales, lípidos y otros que sean biocompatibles, biodegradables y permitan la formación de sistemas nanométricos fácilmente modificables, modulables, funcionalizables para conseguir sustratos para vectorización, materiales inteligentes, con respuesta a distintos cambios o estímulos (pH, temperatura, campos magnéticos) y biosensores.
- Avanzar en técnicas de nanorrecubrimiento, funcionalización y modificación de superficies.
- Avanzar en las tecnologías de fabricación de sistemas nanoparticulares, (nanopartículas, micelas, liposomas, nanotubos, nanofibras) fácilmente escalables e industrializables.
- Desarrollo de técnicas analíticas que permitan la caracterización, evolución y seguimiento de los nuevos materiales.
- Desarrollo de las técnicas de conjugación de biomoléculas en condiciones efectivas de estabilidad y funcionalidad.
- Avances en modelos *in vitro* e *in vivo* para un mejor conocimiento de la función celular: identificación de receptores y marcadores de patologías para estrategias de vectorización.
- Mejores correlaciones farmacocinética y farmacodinámicas para predicciones del comportamiento de los sistemas de liberación *in vivo*.
- Avances en las técnicas de imagen para la visualización de la interacción de los sistemas nanométricos y las funciones celulares.





- Implicación de las Agencias Regulatorias del Medicamento en la definición de estándares operativos, de calidad y seguridad, y guías para la industria para la evaluación clínica de los Nanofármacos.
- Implicación de la investigación clínica para la identificación de oportunidades y ámbitos de aplicación.

#### 4. Proyectos más relevantes

Según un recuento de los proyectos existentes en nanomedicina, y publicado en el informe de Vigilancia Tecnológica de Nanomedicina, hay en estos momentos unos 200 proyectos de investigación dedicados a este ámbito en el periodo que va de 2003 a 2007.

El Plan Nacional de I+D+i constituye el eje estratégico de la política española de I+D+i (Investigación + Desarrollo + Innovación). Así en el nuevo plan de I+D+i que se inicia en 2008 la nanotecnología aparece como uno de los ejes estratégicos.

Dentro del Plan Nacional de I+D+i finalizado (2004-2007) a través de convocatorias de los programas, convocatorias de la acción estratégica en nanotecnología, Fondo de Investigación Sanitaria (FIS) y acciones complementarias se han financiado alrededor de 80 proyectos en el ámbito de nanobiotecnología y nanomedicina.

Dentro del plan Ingenio 2010, cabe destacar en el caso del programa Consolidar la consecución de un proyecto "Nanobiomed" dirigido a la utilización de nanopartículas en el diagnóstico y la terapia. En el caso del Ministerio de Sanidad y Consumo, a través del Instituto de Salud Carlos III, se creó dentro de la convocatoria de Centros de Investigación Biomédica en Red (CIBER) el Ciber-BBN dedicado a Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina que desarrollará actividades de investigación (básica, clínica, epidemiológica y en servicios de salud) y de desarrollo tecnológico. Finalmente el ministerio de Industria en la convocatoria CENIT ha financiado hasta el momento dos proyectos industriales dedicados a la liberación de fármacos (proyecto Nanofarma) y el proyecto Oncnosis dedicado al diagnóstico y terapia para cuatro tipos de cáncer.

La Plataforma Española de Nanomedicina (Nanomedspain) reconocida como Red Temática por el Ministerio de Educación y Ciencia, cuenta actualmente con más de 70 participantes con una gran representación del sector industrial. En esta Plataforma, la industria española del sector biomédico y biotecnológico juega un papel fundamental, apoyada de manera muy activa por numerosos centros tecnológicos, organismos de investigación, universidades, hospitales así como por la administración pública española.

La política europea en materia de ciencia y tecnología se define en el VII Programa Marco (VII-PM) de la UE. En el séptimo programa marco, en el que la nanomedicina aparece tanto en las convocatorias de salud, como de nanotecnológica y materiales para la producción, como en ICT. En el VII Programa Marco, uno de los ocho programas específicos en el VI-PM denominado "Nanotecnología y Nanociencia, materiales multifuncionales basados en el conocimiento y nuevos dispositivos y procesos de producción" fue dotado con más de 1.000 millones de euros para el periodo 2002-2006. Entre este programa y los correspondientes a IST

y Salud, la participación española en proyectos de nanotecnología relacionada con la biomedicina ha sido de unos 30 proyectos (incluyendo acciones de movilidad de personal de investigación). Así mismo en el marco de la estrategia comunitaria en Nanotecnología se constituyó en 2005 una Plataforma Tecnológica Europea en Nanomedicina. La Plataforma está constituida por empresas, asociaciones industriales, universidades y centros de investigación. Desde el momento de su fundación se inició también la actividad de la plataforma espejo nacional de Nanomedicina.

Finalmente es de destacar el papel de las comunidades autónomas como Cataluña, Madrid, Aragón, Galicia o Andalucía, entre otras, en potenciar dentro de sus planes de investigación la nanomedicina, ya sea mediante la financiación de proyectos como en la creación de nuevos institutos como son el Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC) , el Instituto Catalán de Nanotecnología (ICN) , El Instituto de Nanotecnología de Aragón (INA), el instituto de nanociencia y Nanotecnología de Madrid (IMDEA Nanociencia), el Instituto de Nanotecnología del País Vasco, o el Laboratorio Ibérico Internacional de Nanotecnología (INL) de Braga.

### Grupos Españoles y Europeos más relevantes

En el gráfico aparecen los clústers más relevantes en Nanomedicina en EE.UU y Europa según un informe de 2004 de la VDI alemana.

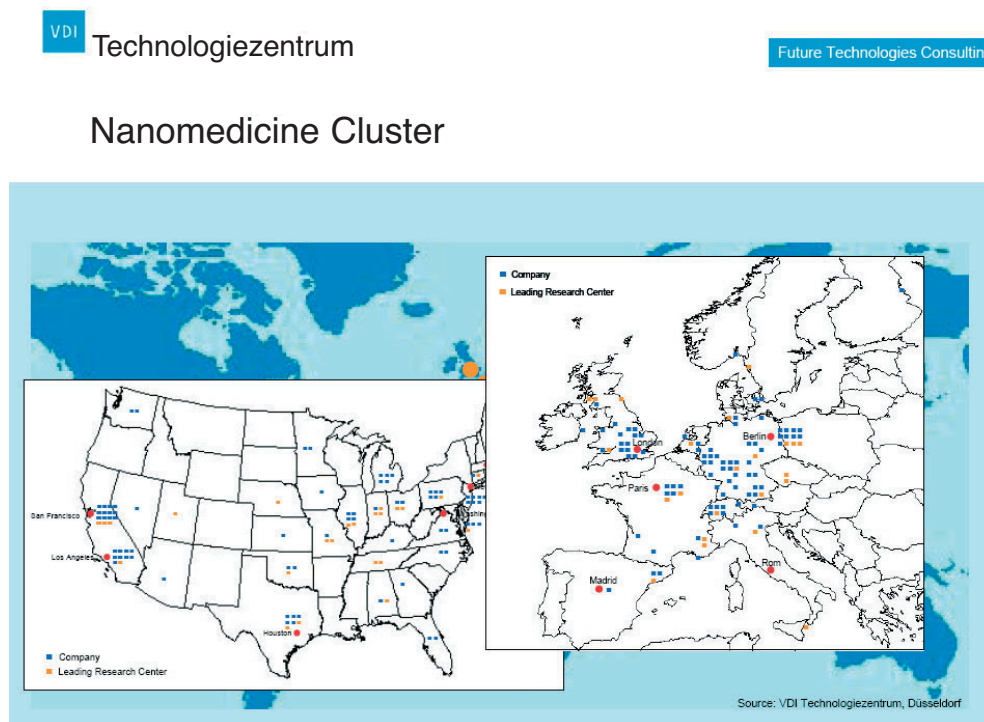


Figura 2. Clúster en Nanomedicina en USA y Europa.

El desarrollo de *Nanosistemas Terapéuticos* es fruto de un esfuerzo multidisciplinar que necesita de la participación de investigadores de áreas científicas y técnicas como Tecnología Farmacéutica y Biofarmacia, Ciencia y Tecnología de Materiales, Química Orgánica, Química Fundamental, Física Aplicada, Nanociencia, Biología Celular, Fisiología, Inmunología, Farmacología, Bioquímica de Conjugados, Biología Molecular. En España, la introducción de las nanotecnologías aplicadas a los



sistemas de liberación de fármacos y actividades relacionadas se iniciaron dentro de Dpto. de Tecnología Farmacéutica en la Universidad de Santiago a mediados de los años 80. Desde esa fecha hasta hoy se ha generado una importante masa crítica, no sólo en centros académicos y públicos sino también en el sector privado. De hecho, algunas compañías farmacéuticas españolas consolidadas o emergentes (e.g. Almirall, Ferrer, Faes Farma, Esteve, Salvat, Rovi, PharmaMar, Genetrix, GP-Pharma) e internacionales implantadas en España (Ipsen Pharma, Pierre Fabre, Pfizer) han dedicado algunos esfuerzos a desarrollar proyectos en el ámbito de los Nanosistemas Terapéuticos. Otras compañías han hecho de este ámbito una gran parte de su actividad industrial o modelo de negocio (e.j. Lipotec, Advancell, Activery).

En septiembre de 2005 se constituyó la primera Red Temática Española de Investigación en "Sistemas de Liberación de Moléculas Activas" (SLMA). Esta red ha sido promovida por cuatro grupos de investigación de diferentes universidades españolas (La Laguna, Navarra, Vitoria y Santiago de Compostela) y cuenta con el apoyo económico del MEC (Programa de Acciones Complementarias).

En España existe una importante experiencia en el diseño de sistemas de liberación basados en nanopartículas magnéticas (fundamentalmente en óxidos de hierro), que podrían vehiculizarse de forma selectiva utilizando campos magnéticos (además de su utilización a más corto plazo en imagen por resonancia magnética). Por otra parte y dirigiendo la mirada hacia aspectos económicos y de estrategia empresarial, la reformulación de moléculas ya comercializadas bajo la forma de Nanosistemas y la tecnología afín en moléculas en fase de desarrollo y evaluación clínica, les confiere a estos un importante valor añadido que abarca desde diferenciación frente a la competencia, extensión de la vida de patente de un fármaco como protección a la entrada de genéricos y un incremento de retorno de la inversión gracias a que los sistemas de liberación logran productos de mayor calidad que pueden fácilmente convertirse en *blockbusters*.

España es el cuarto país europeo en cuanto a gasto en diagnóstico *in vitro*, en lo que se refiere a reactivos, por detrás de Alemania, Italia y Francia. Esta realidad hace suponer que la implantación de nuevas tecnologías para la mejora del diagnóstico permitirá a España permanecer en el grupo de cabeza en cuanto a gasto en tecnología diagnóstica. Existen en la actualidad en España más de un centenar de grupos dedicados total o parcialmente al I+D en nanodiagnóstico. Esta abundancia de pequeños grupos de trabajo conduce a la falta de coordinación y de sinergias que permitan sacar el máximo rendimiento y competitividad al esfuerzo que se está realizando. Sería necesaria la continuación de las iniciativas iniciadas dentro del programa Ingenio 2010 que engloben ciencia y tecnología en el marco de la colaboración entre los centros públicos y las empresas privadas. El diagnóstico por su propia naturaleza precisa además de validaciones externas coordinadas, que en España todavía están lejos de ser tratadas por la administración mediante los protocolos adecuados.

En el ámbito de medicina regenerativa en España hay media docena de empresas, con un número importante de grupos de investigación en biomateriales, biomecánica e ingeniería tisular. En estos momentos se puede indicar que todos los grupos con más capacidad de evolución se encuentran involucrados en las iniciativas Consolider, CIBER-BBN y CENIT que se han concedido.

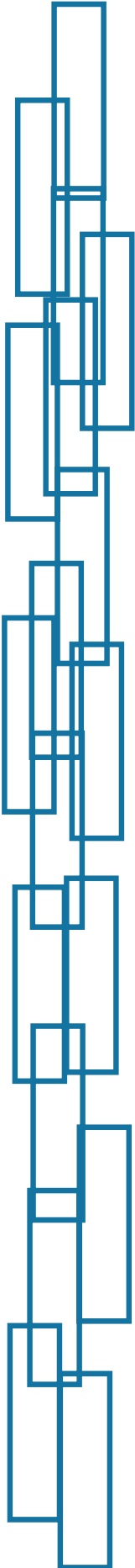
## 5. Conclusiones y Recomendaciones

A diferencia de otras áreas de la Nanotecnología, las diferentes aplicaciones de la Nanomedicina comenzarán a tener resultados visibles en los próximos 10–15 años. Esto se debe a que los productos que se desarrollen mediante Nanotecnología para su aplicación en salud humana deben seguir unos protocolos de ensayo más largos y están sometidos a una regulación más estricta. Según la encuesta realizada entre expertos y publicada en el informe de vigilancia tecnológica de Madri+d, la tecnología que se sitúa con un desarrollo más cercano, para los próximos cinco años, es la integración de sistemas en *lab-on-a-chip*. Se trata de una tecnología más madura que el resto y que ya se encuentra disponible de forma comercial. El desarrollo de nuevos agentes de contraste, la mejora del acceso de fármacos a zonas restrictivas y el autoensamblado de materiales son las otras tecnologías cuyo desarrollo se sitúa en un período de tiempo inferior a diez años. En cuanto a las tecnologías cuyo desarrollo se muestra más lejano, tendríamos la construcción de una tomografía intracelular que trabaje a tiempo real, el desarrollo de nanosensores capaces de activar y controlar de forma específica genes implicados en el crecimiento de tejidos, el desarrollo de tratamientos preventivos basados en la activación de genes mediante estímulos bioactivos y los sistemas de liberación de fármacos selectivos y dirigidos de forma específica a la célula y órgano en cuestión, necesitan un período de unos 15 años para alcanzar un alto grado de desarrollo. Todas estas tecnologías son más complejas en cuanto a que requieren de una mayor integración de las diferentes áreas de la Nanomedicina y no se limitan a un sola área de aplicación, son tecnologías horizontales y que tratan de integrar en un mismo dispositivo diagnóstico y terapia.

Específicamente, la nanotecnología aplicada al diagnóstico traerá mejoras significativas en el sector en cuanto a rapidez, sencillez, bajo coste y fiabilidad de los dispositivos. Ello redundará en la mejora de la calidad de vida debido a la mejora en la eficacia diagnóstica en especial en relación con la detección en fase temprana de enfermedades que hoy son de elevado impacto social. En consecuencia, permitirá la implantación efectiva de la llamada terapia individualizada que va a constituir el pivote fundamental de la medicina del futuro. Aún siendo la nanotecnología un campo muy prometedor en diagnóstico, la Unión Europea sigue estando detrás de países como los EE.UU. y Japón. La situación en España es todavía más preocupante ya que a la falta de inversiones y financiaciones se une la atomización de grupos de trabajo lo que impide las sinergias. Esto conlleva a la falta de competitividad por una parte, y por otra a la ausencia de una masa crítica que permita el desarrollo de nanotecnología competitiva que satisfaga la demanda de mejoras en el diagnóstico clínico tanto *in vitro* como *in vivo*.

En el caso de la Ingeniería Tisular es un área de investigación multidisciplinar de muy reciente creación (el primer producto fue aprobado para su uso en clínica humana en 1996). La investigación en este área representa una prioridad desde el punto de vista de financiación de los estados miembros de la Comunidad Europea. Las áreas más apoyadas son los biomateriales, células y biomoléculas. Será necesario profundizar en el conocimiento de las células troncales tanto adultas como embrionarias. Son muy escasos los resultados de investigación que han sido transferidos al sector industrial. La nanotecnología aplicada a la liberación de fármacos para generar lo que denominados *Nanosistemas Terapéuticos* es un área multidisciplinar y representa una prioridad para el avance en el tratamiento, diagnóstico y prevención de las enfermedades.





La necesidad de este carácter multidisciplinar obliga a la participación de áreas científicas y técnicas hasta la fecha poco implicadas en el ámbito del diseño y desarrollo de sistemas de liberación de fármacos como puede ser Química Orgánica y de Bioconjugación, Ingeniería de Procesos, Inmunología, Ciencia de Materiales, Investigación Clínica, por citar los ejemplos más significativos. La necesidad de evaluación clínica de las tecnológicas a desarrollar al considerar el fin último de las mismas la administración en seres humanos para el tratamiento de enfermedades, obliga a la implicación de las agencias regulatorias del medicamento con el fin de constituir un terreno de definición regulatoria sobre el que puede progresar el desarrollo y evaluación de los *Nanosistemas Terapéuticos*.

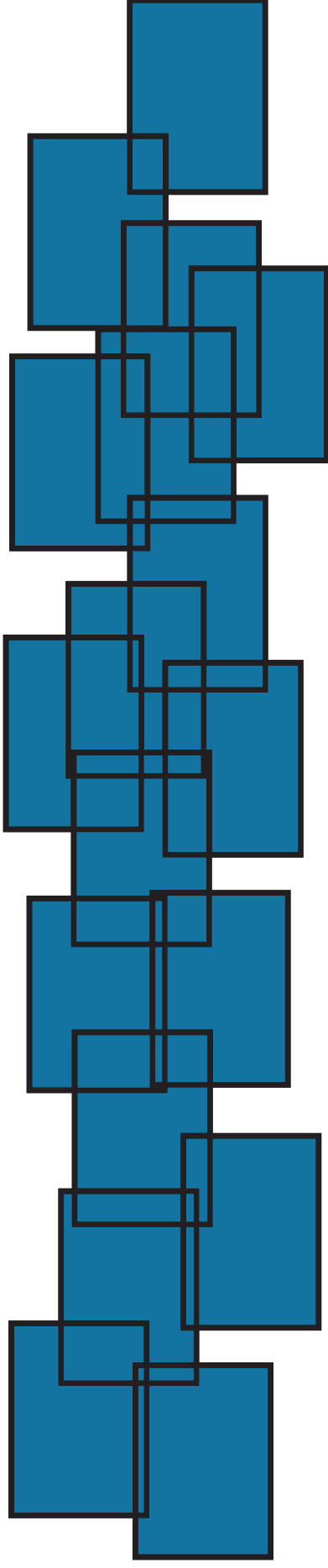
Es obvio que la Nanomedicina está aún en una fase embrionaria, donde prima la tarea de investigación básica y orientada. Pero es en los próximos 10-15 años cuando los resultados de esta investigación deben transferirse a aplicaciones que sean plenamente operativas dentro del sistema sanitario tanto en la prevención y diagnóstico como en la terapia. Como sector innovador de alto nivel tecnológico, las cuantiosas inversiones necesarias para desarrollar estos productos basados en nanotecnología requerirán encontrar aplicaciones donde el beneficio de su utilización sea substancial y permita afrontar problemáticas asistenciales que hasta el momento no se han podido abordar ya sea por cuestiones científicas (mejora de las prestaciones) o económicas (disminución de costes). Los próximos años serán claves para el desarrollo de aquellas prácticas médicas, incluyendo la prevención, el diagnóstico y la terapia, que requieren tecnologías basadas en interacciones entre el cuerpo humano y materiales, estructuras o dispositivos cuyas propiedades se definen a escala nanométrica. Estamos convencidos que España puede tener un papel relevante en esta evolución de la Nanomedicina, al contar con centros de investigación punteros, un sector industrial farmacéutico y biotecnológico interesado en incorporar nuevas tecnologías y un sistema asistencial basado en una red de hospitales con una investigación básica y clínica de nivel internacional.

- Las características de las nanofabricaciones presentan gran dispersión, fruto de la falta de exactitud y precisión (reproducibilidad) de los sistemas de medida, por lo que la metrología debe integrarse en los procesos productivos.
- No existen patrones de calibración que cubran todas las necesidades de la nanoescala, por lo que es necesario desarrollarlos con urgencia.
- Deben fabricarse instrumentos metrológicamente fiables, que permitan la caracterización adecuada de los nuevos patrones, empleando éstos posteriormente para dotar de trazabilidad a los instrumentos habituales.
- Debe mantenerse una buena base de datos con información actualizada sobre desarrollos en nanometrología.
- Debe mejorarse la divulgación y difusión continua del conocimiento, desde los Institutos de Metrología hacia los agentes implicados en el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología.





# NANOELECTRÓNICA ELECTRÓNICA MOLECULAR





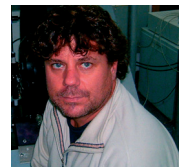


## José Luis Costa-Krämer

**Lugar y fecha de nacimiento:** Sevilla, Mayo de 1963.

**Formación:** Licenciado en CC Físicas por la Universidad Complutense de Madrid, especialidad Física de Estado Sólido 1987. Doctor en CC Físicas por el Royal Inst. of Technology, Estocolmo, Suecia 1994. Doctor en CC Físicas por la Univ. Complutense de Madrid, España 2000

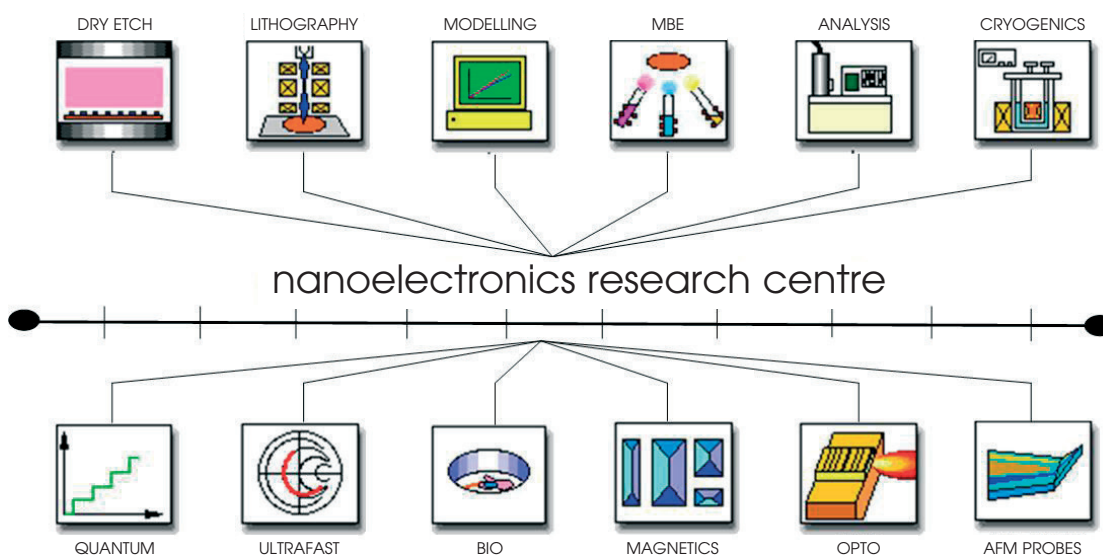
**Carrera Profesional:** Tras realizar la tesis en el Royal Inst. of Technology en Estocolmo, Suecia, realiza un posdoc en el laboratorio de Física de Sistemas Pequeños y Nanotecnología del CSIC. Posteriormente se incorpora al Instituto de Microelectrónica de Madrid como Científico Titular. Su especialidad es el magnetismo y el transporte en nanoestructuras.



## 1. Introducción

La nanoelectrónica estudia los fenómenos de transporte y distribución de carga y espín en la escala del nanómetro. Avances instrumentales en las últimas décadas han permitido la visualización en el espacio real y la manipulación controlada de los átomos. En paralelo las técnicas de litografía han ido reduciendo el tamaño de los motivos que se pueden fabricar, llegando en la actualidad la industria semiconductora a pistas de 90 nm en obleas de 300 mm de diámetro. Las dos aproximaciones científicas al mundo que separa lo atómico de lo macroscópico se conocen como "bottom-up" y "top-down". Éste es un mundo mesoscópico, donde las propiedades físicas no escalan con el tamaño y los efectos cuánticos como el confinamiento y la coherencia propician que añadir o quitar un átomo, haga que cambien drásticamente las cosas; es decir, un mundo donde el tamaño realmente importa. La implementación de la nanoelectrónica en la tecnología actual será un proceso gradual, sustituyendo componentes individuales y eventualmente sistemas complejos. La microelectrónica, incluso con tamaños de puerta de transistor por debajo de los 50 nm, no es estrictamente una implementación de la nanoelectrónica, ya que no hay una propiedad física relacionada con la reducción de tamaño que esté siendo utilizada. Aun así, la necesidad de la nanotecnología, y de la nanoelectrónica en particular, se justifica a menudo por el hecho de que la ley de Moore — relacionando la mejora de prestaciones con el tamaño más pequeño de los dispositivos — llega a su fin. Las razones son tanto económicas como físicas. Sin embargo este es un argumento debatible. La tecnología del Silicio avanzará con dificultad por este camino durante una década o más. Se espera mantener la tendencia integradora usando dieléctricos de alta K basados en Hafnio y puertas metálicas. Se prevé también que las prestaciones continuarán mejorándose durante 15 años optimizando el diseño del chip, haciendo un uso más eficiente del área de la oblea de Silicio. En el futuro se desplazará la tecnología de dispositivos actuales a dispositivos de superficie, como en los dispositivos tipo *trigate*.

Una nueva tecnología sólo reemplaza una existente con éxito si mejora las prestaciones (incluyendo el coste efectivo) ordenes de magnitud, o si suministra características que la tecnología existente es físicamente incapaz de suministrar. Este es el reto, la búsqueda de nuevas propiedades, paradigmas y arquitecturas para crear la nueva nanoelectrónica.



<http://www.elec.gla.ac.uk/groups/nano>

## 2. Estado del arte

La nanoelectrónica es el punto de reunión donde la física, la ciencia de materiales, la química, la biología y la ingeniería electrónica se topan irremediablemente. Los circuitos integrados tradicionales consisten en una serie de interruptores eléctricos y cables tan pequeños y económicos como sea posible, idénticos y reproducibles en serie. Parece muy difícil -si no imposible- para la fabricación tradicional de semiconductores, producir circuitos con la exactitud necesaria a escalas atómicas. Es en la búsqueda de soluciones a estos problemas donde los investigadores intentan remplazar algunos conceptos básicos acerca de los dispositivos y sus interconexiones. En paralelo, los científicos intentan descifrar cómo la naturaleza se las arregla para almacenar y transmitir un conjunto de instrucciones que permiten desarrollar nanomáquinas que cumplen tareas de construcción avanzadas en el ámbito celular, una espectacular ilustración es el video *The Inner Life of the Cell* (Biovisions en la Universidad de Harvard), un extracto se puede ver:

<http://www.youtube.com/watch?v=kxSLw1LMvgk>

La Unión Europea ha clasificado (ENIAC, 2005 SRA) las necesidades de la sociedad en términos de dispositivos en 5 grupos: Salud, Movilidad y transporte, Seguridad, Comunicaciones, Educación y Entretenimiento. Todas ellas están englobadas conceptualmente en la Inteligencia del Entorno (Ambient Intelligence), en el sentido que los dispositivos reconozcan usuarios, y que ajusten sus funciones a los usuarios individuales. La nanoelectrónica juega un papel primordial en todos ellos, por poner algunos ejemplos: biosensores, bioimplantes, sistemas de navegación y de seguimiento de vehículos, energías alternativas, sistemas biométricos, baterías, etc.

Un material que ha recibido mucha atención recientemente es el grafeno. Esta monocapa de grafito, que hasta ahora ha sido muy popular en su versión cortada y enrollada (el nanotubo de carbono) es fascinante, y posiblemente más manejable como material. Esto ha sido señalado recientemente por Claude Berger (Berger, C. *et al.* Science 312, 1191–1196 (2006)), que ha estudiado el transporte en grafito ultrafino crecido en carburo de silicio. Ella encontró que la resistencia del grafito en un campo magnético exhibe el comportamiento peculiar del grafeno. Esto puede parecer sorprendente considerando que el grafito tiene varias monocapas. La explicación es que sólo la capa interfacial con el substrato está cargada apreciablemente, y que ésta intercara domina la conducción (Phys Rev Lett. 2007 Sep 21;99 (12):126805 17930540.). Es de resaltar que el substrato usado es compatible con las técnicas de litografía estándar usadas por la industria semiconductor.

He subdividido el estado del arte de la nanoelectrónica en 6 apartados diferentes: Electrónica Molecular, Nanotubos de Carbono, Nanoestructuras semiconductoras, MEMS y NEMS, Interconectores, Espintrónica, y Computación Cuántica. Al final de cada apartado menciono alguna referencia general. Dejo fuera, por motivos de complejidad y espacio, todos los esfuerzos que se están realizando en el desarrollo de técnicas de litografía avanzadas: óptica, ultravioleta extremo, rayos X de proximidad, *e-beam projection* y el sistema SCALPEL, *ion beam projection*, nanolitografía por e-beam, *nanoimprint* y métodos SPM.

### ➤ Electrónica Molecular

Es el estudio de propiedades moleculares que pueden llevar al procesado de la información. Desde principios de los años noventa, se está dedicando un gran esfuerzo científico al desarrollo de una nueva electrónica basada en la utilización de *materiales*

*moleculares electroactivos*. Estos materiales son de naturaleza orgánica, incluyendo desde moléculas de pequeño tamaño (10 átomos) hasta polímeros (macromoléculas), y son capaces de responder a estímulos eléctricos y luminosos de forma similar a los conductores y semiconductores inorgánicos. Sin lugar a dudas, el acontecimiento que más ha contribuido al desarrollo de los materiales moleculares electroactivos fue el descubrimiento de los polímeros conductores (plásticos que conducen la electricidad), merecedor del premio Nobel de Química del año 2000. Nos encontramos, por tanto, ante nuevos materiales que nos ofrecen las propiedades eléctricas y ópticas de los metales y semiconductores, junto con las atractivas propiedades mecánicas, las ventajas de procesado y el bajo coste económico de los polímeros. A estas ventajas hay que añadir el gran potencial de la síntesis química para modificar las propiedades del material mediante cambios en la estructura química de los sistemas componentes. Los materiales moleculares electroactivos están siendo desarrollados industrialmente para su utilización en aplicaciones tan diversas como baterías orgánicas, músculos artificiales, pantallas de teléfonos móviles, células solares, "narices" electrónicas, etc.

En el año 2001 se construyeron los primeros circuitos moleculares, utilizando unas moléculas llamadas rotaxanos, capaces de funcionar como un transistor. Aún se está muy lejos de poder ensamblar un chip utilizando estos materiales, pero las posibilidades son asombrosas<sup>1</sup>.

#### ➤ Nanotubos de Carbono

Los nanotubos de carbono son moléculas tubulares de carbono, con propiedades que los hacen muy atractivos y potencialmente útiles para aplicaciones como componentes eléctricos y mecánicos extremadamente pequeños. Exhiben una dureza inusual, propiedades electrónicas únicas y son unos conductores de calor extremadamente eficientes. Las buenas propiedades eléctricas, mecánicas, y químicas de los nanotubos de carbono les hacen candidatos para fabricar dispositivos tales como transistores a escala nanométrica, pantallas de emisión de campo, actuadores, etc.

Investigadores del Rensselaer Polytechnic Institute, junto a un equipo internacional de colaboradores, han descubierto cómo soldar entre sí nanotubos de carbono. También se ha descubierto recientemente que las propiedades semiconductoras de los nanotubos de carbono cambian en presencia de campos magnéticos, un fenómeno único, y que podría causar su transformación en metales a incluso mayores valores de campo magnético

En el 2004 se crecieron nanotubos de carbono de unos 4 cm. de longitud, y recientemente se han visualizado por TEM los átomos de Carbono individuales de SWT, demostrado la capacidad de soldarlos uno a continuación de otro y también de crecerlos sobre sustratos metálicos<sup>2</sup>.

Ver también el informe de vigilancia tecnológica "Nanotubos de Carbono: aplicaciones" en <http://www.madrimasd.org/cimtan/Informes/default.aspx>

<sup>1</sup> Projecting the nanoworld: Concepts, results and perspectives of molecular electronics by Giuseppe Maruccio, Roberto Cingolani and Ross Rinaldi. J. Mater. Chem., 2004, 14, 542-554, DOI: 10.1039/b311929g.

<sup>2</sup> Carbon nanotube electronics and optoelectronics. Avouris P. Mrs Bulletin 29 (6): 403-410 Jun 2004.





## ➤ Nanoestructuras Semiconductoras

Existen dispositivos tipo diodo y transistor que tienen el potencial de operar en la escala de los nanómetros, a velocidades ultra altas y con una densidad ultra alta de circuitos. Algunos de estos dispositivos pueden ser especialmente útiles debido a sus inéditas características de "output", permitiendo realizar operaciones con menos componentes de los usuales. Esta clasificación englobaría: Resonant Tunneling Hot Electron Transistor RHET, Resonant Tunneling Bipolar Transistor RTBT, Quantum Effect Devices QED, ElectronWaveguide Devices, Quantum Well Modulation Base Transistors, Lateral Quantum Devices, Coulomb Blockade Devices, etc.

Estructuras de dimensiones nanoscópicas capaces de confinar electrones (incluso uno sólo) en niveles de energía discretos. Nanocristales de semiconductores muestran propiedades ópticas y electrónicas que dependen de su tamaño. Esto los hace extremadamente atractivos en aplicaciones como catálisis, celdas fotovoltaicas, láseres, transistores, etc.<sup>3</sup>

## ➤ NEMS y MEMS

Una derivación actual de la tecnología microelectrónica es el desarrollo de MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) chips de silicio y otros materiales en los que se integran no sólo funciones de tipo electrónico convencional (microprocesadores) sino también nuevos elementos funcionales de todo tipo (microsensores, microactuadores, microfluídica, micromotores, microcomponentes ópticos) fabricados mediante técnicas litográficas y de micromecanización por ataque químico anisótropo, similares a las ya conocidas en microelectrónica. Este campo no ha hecho más que nacer y ya se prevé su evolución inmediata, a partir de un desarrollo natural de ingeniería (top-down) no sólo reduciendo aún más su escala sino introduciendo aspectos y procesos típicos de la nanotecnología para dar lugar a los denominados NEMS. En algunos de ellos, por ejemplo, se integran dispositivos nanomecánicos, en otros, utilizando técnicas litográficas o de auto-ensamblado de moléculas orgánicas complejas como proteínas o fragmentos de ADN se integran funciones de reconocimiento bioquímico o biosensores. Importantísimo y relacionado con este, es el campo de los Biochips o "DNA Microarrays" que se ha desarrollado ya enormemente, permitiendo la identificación rápida y económica de grandes sectores del genoma. Actualmente existen ya unas 30 empresas fabricando y comercializando estos "Genome arrays" capaces de identificar del orden de 10.000 fragmentos en un solo chip. Se cree que no está lejos el momento en que se pueda comercializar un chip personal que analice todo el genoma y permita obtener un informe detallado de los condicionantes genéticos más relevantes de cada persona.

Existen muchas otras aplicaciones de los biochips. Por ejemplo, los microarrays de proteínas que se están introduciendo en el campo de la investigación en proteómica, permiten cuantificar todas las proteínas expresadas en una célula. El marcado de los fragmentos que hasta hace poco tiempo se hacía mediante sustancias fluorescentes ha progresado enormemente mediante la adopción de una técnica procedente del campo de los semiconductores y la optoelectrónica: el marcado, casi un código de barras óptico, mediante nanopartículas de semiconductores, los llamados puntos cuánticos. Es un caso paradigmático de interacción interdisciplinar entre la

---

<sup>3</sup> Handbook of Semiconductor Nanostructures and Nanodevices by Alexander A. Balandin, Kang L. Wang. American Scientific Publishers (December 20, 2006).

bioquímica y la física cuántica que ha resultado extraordinariamente fructífero, pues estos nuevos marcadores son muy selectivos, estables y no interaccionan ni modifican químicamente las proteínas marcadas.

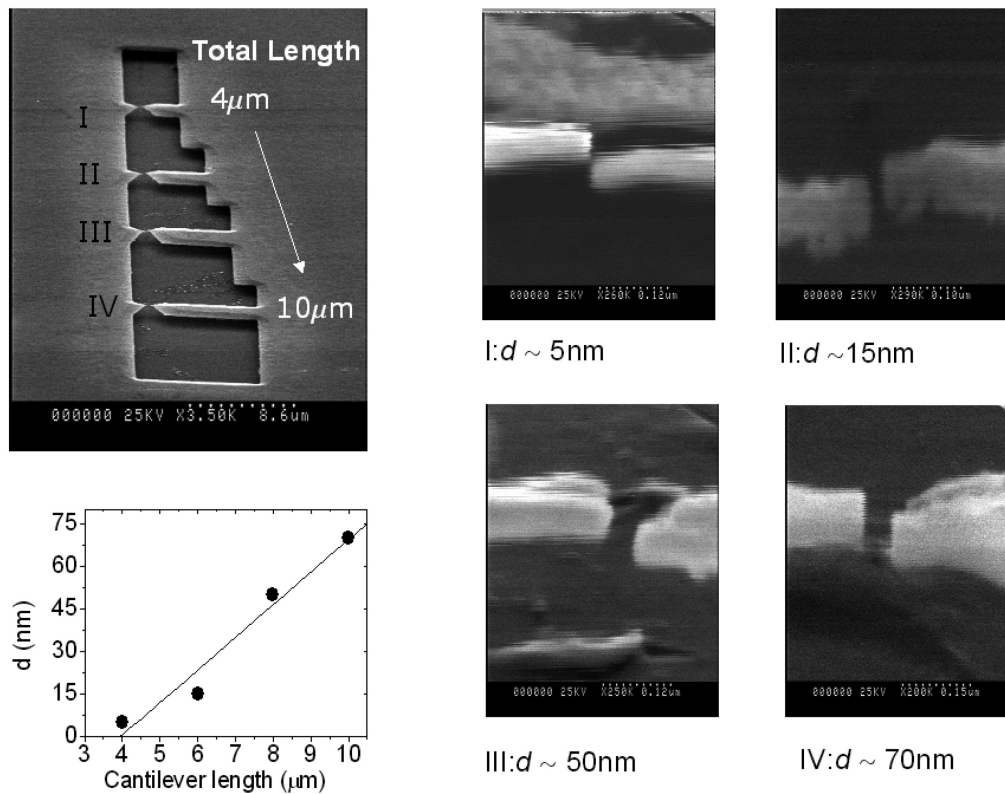


Figura 1. Nanogaps controlados fabricados en el IMM-CNM-CSIC (cortesía de Iván Fernández)

En este sentido, destacaría el campo de los NEMS actuados magnéticamente, con aplicaciones muy prometedoras en biotecnología, en instrumentación y en estudios fundamentales<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> MEMS and NEMS: Systems, Devices, and Structures. Sergey Edward Lyshevski Rochester Institute of Technology. CRC Press (2002). Principles and Applications of NanoMEMS Physics. Series: Microsystems, Vol. 15 De Los Santos, Héctor J. Springer (2005).



➤ Interconectores

Uno de los principales retos en la fabricación de dispositivos nanoelectrónicos es la conexión entre diferentes componentes. Para esto hay varios candidatos (Fig. 2).


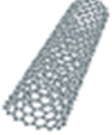
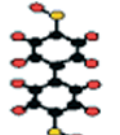
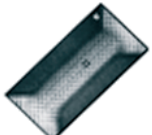

MATERIAL	 NANOCONTACT	 NANOTUBE	 MOLECULES	 QUANTUM WIRES	 DNA
GEOMETRY	-Au, Cu, Ag,.. Undefined	-C Tubular	-C,N,O,... Defined by chemistry	-Au 2D, planar	C,H,O,N,P,... Double helix
SCALE	Atomic	1-40 nm	1 nm	Some nm	1 nm
LENGTH	Nanometers	1-2 microns	Nanometers	Nanometers	1-2 microns
WIRING	Easy	Difficult	Difficult	Easy	Difficult
FABRICATION	Mechanical contact...	Arc discharge laser	Test tube	Lithography	Test tube
CONDUCTION MECHANISM	Quasiballistic transport	¿?	¿?	Ballistic transport	¿?

Figura 2. Candidatos a interconectores en el nanomundo

El factor limitante de la tecnología semiconductor actual se debe a la disipación de energía. Esta disipación se acelera a velocidades de conmutación elevadas. En nanoestructuras metálicas, tamaño del orden de la longitud de onda electrónica (unos pocos Å) y longitud menor que el recorrido libre medio (distancia entre colisiones) el transporte es balístico. Esto quiere decir que los electrones no disipan energía en la nanoestructura. Dependiendo de los diseños nanoelectrónicos, y especialmente para la computación cuántica, es importante que se mantenga la coherencia electrónica, que el portador de carga no pierda memoria de su fase. El estado superconductor por ejemplo, es un estado coherente macroscópico, con innumerables aplicaciones hoy en día. Los diseños de circuitos nanoelectrónicos usarán estas propiedades para realizar operaciones de forma rápida y eficiente.

Dentro de este campo cabría destacar los trabajos en las supramoléculas unidimensionales conductoras. Los polímeros metal-metal-haluro (MMX) demuestran interesantes propiedades eléctricas y magnéticas y se perfilan como una posible alternativa a los nanotubos de carbono.<sup>5</sup>

➤ Espintrónica y nanoestructuras magnéticas

Los dispositivos activos actuales están basados todos, en mayor o menor medida, en la carga del electrón, que fue descubierto a finales del siglo XIX. Recientemente hemos aprendido a hacer uso selectivo de los dos canales de espín. El primer dispositivo espintrónico es el cabezal de lectura de información magnética basado en la magnetorresistencia gigante. El principio es la diferente tasa de

<sup>5</sup> Interconnect Technology and Design for Gigascale Integration. Jeffrey A. Davis and James D. Meindl. Springer.

dispersión (*scattering*) a que están sujetos los diferentes canales de espín. Esto hace que una orientación antiparalela de la imanación en las capas magnéticas presente un estado de resistencia alta, y que la orientación paralela presente un estado de resistencia baja. Estos dispositivos se encuentran en los cabezales de los discos duros y el descubrimiento del fenómeno ha merecido el premio Nobel de Física del año 2007 a Albert Fert y Peter Grunberg. En las tecnologías de grabación magnética se desarrollan esfuerzos considerables en medios con anisotropías oblicuas, en medios con la imanación perpendicular y en medios litografiados. Las memorias magnéticas basadas en las uniones túnel ferromagnéticas MRAM han llegado al mercado recientemente (Freescale (4 Mbit MRAM, en el 2006) NEC, Micromem...).

En España hay una excelente comunidad de investigación en magnetismo, trabajando en varios problemas fundamentales y aplicados en la escala nanométrica.

Dentro de este campo cabe destacar los esfuerzos que se están realizando en:

- inyección de espín polarizados
- válvulas de espín
- transistores de espín
- túnel de espín
- efectos dinámicos y de precesión
- propiedades de redes de nanoelementos magnéticos
- nanopartículas magnéticas
- magnetismo en sistemas no convencionales
- biomagnetismo
- NEMS magnéticos

En este campo cabría destacar iniciativas como el Magnetic Race Track Memory, (S. Parkin et al. IBM) donde la información se graba en paredes magnéticas, un "viejo" empeño de la comunidad magnética (como la memoria de burbuja, *bubble memories* de los años 70) de crear memorias magnéticas en dispositivos sin partes mecánicas móviles.

Aún compitiendo con tecnologías variadas (materiales de cambio de fase, memorias Flash....) en términos de velocidad de acceso, capacidad de información, fiabilidad, etc., se augura un buen futuro para el disco duro. Para terminar, hay que destacar que este año se ha "inaugurado" oficialmente la era del terabyte, pudiéndose adquirir en el mercado discos duros de esta capacidad<sup>6</sup>.

#### ➤ Computación Cuántica

En 1948 Claude Shannon define matemáticamente el concepto de información: con su Teorema de Codificación sobre un Canal sin Ruido, su Teorema de Codificación sobre un Canal Ruidoso y los códigos de corrección de errores. Esto da lugar a la Teoría de la Información. La información y la lógica, el arte de manejar la información, no pueden existir desligadas de las leyes de la naturaleza. En el mundo cuántico la unidad de información es el "qubit" (bit cuántico). Además:

- La información cuántica no se puede copiar con fidelidad perfecta;

---

<sup>6</sup> Magnetic Nanostructures in Modern Technology: Spintronics, Magnetic MEMS and Recording. Azzerboni, Bruno Asti, Giovanni Pareti, Luigi. Springer.





- La información cuántica se puede *transferir* con fidelidad perfecta;
- La medida llevada a cabo en un sistema cuántico destruye la mayoría de la información contenida en él;
- Sólo se pueden hacer predicciones probabilísticas sobre la base en la que un estado cuántico acabará después de la medida;
- Ciertos observables no pueden tener simultáneamente valores precisos definidos;
- La información cuántica puede estar codificada (y generalmente lo está) en correlaciones no locales entre las diferentes partes de un sistema físico;

Los requisitos para fabricar un ordenador cuántico son:

- Un sistema físico escalable con qubits bien definidos.
- La habilidad de inicializar el estado de los qbits a un estado arbitrario como  $|0000\dots\rangle$ .
- Tiempos largos de coherencia, mucho más largos que el tiempo de operación de las puertas.
- Un conjunto "universal" de puertas cuánticas.
- Una medida específica de qubits.
- La capacidad de convertir qubits estacionarios a viajeros.
- La capacidad de transmitir fielmente qubits entre sitios específicos.

Se ha demostrado la fabricación de qubits en trampas de iones, cavidades de alto Q, RMN en líquidos y redes de uniones Josephson. Recientemente se ha demostrado experimentalmente que fotones únicos pueden transferir información cuántica entre qubits relativamente distantes<sup>7</sup>.

Me gustaría finalmente resaltar que hay una compañía canadiense (D-Wave Systems Inc.) que afirma que ha construido el primer ordenador cuántico de 16 qubits capaz de resolver problemas sencillos. Ver por ejemplo: <http://www.nature.com/news/2007/070212/full/news070212-8.html>

En la página web de esa compañía -<http://www.dwavesys.com>- se afirma que en la conferencia de supercomputación SC07 el 20 de Nov de 2007 en Reno se ha mostrado uno de 28 qubits<sup>8</sup>.

### 3. Actuaciones a desarrollar en España 2008-2011

Las nanotecnologías, en su acepción más general, -técnicas de manipulación o control a escala nanométrica e incluso molecular o atómica- no tendrán aplicación propia práctica hasta dentro de unas décadas. Sin embargo, las previsiones apuntan a que estarán presentes en todos los campos de las ciencias y supondrán, según los expertos, una revolución sólo comparable a la que ha supuesto la microelectrónica. La nanoelectrónica como tal representa un pequeño, pero rápidamente creciente, mercado. Engloba desde el evolucionario "More of Moore" desarrollo de la tecnología actual de circuitos integrados microelectrónicos, al revolucionario "More than Moore" que son las actividades que ahora se pueden denominar nanociencia pero que alterarán significativamente el panorama tecnológico y los modelos de negocio y la

<sup>7</sup> Mika A. Sillanpää et al. Nature 449, 438-442 Sept. 2007 y J. Majer et al Nature 449, 443-447 Sept. 2007).

<sup>8</sup> Quantum Computation and Quantum Information by Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang. Cambridge University Press.

industria microelectrónica. Estos cambios demandan estructuras organizativas nuevas, equipo y material y una experiencia multidisciplinar. De la misma manera que la microelectrónica llevó a la creación del microchip, o circuito integrado, que disminuyó el tamaño de los ordenadores e incrementó el poder de cálculo, la nanoelectrónica llevará al 'nanochip'.

### ¿Qué se necesita?

Lo primero que hay que tener en cuenta es que la nanoelectrónica es un campo muy abierto con un potencial enorme para logros transformadores que se originen en la investigación fundamental. Algunos de los temas principales son:

- Entender el transporte en la nanoescala (una buena interrelación teoría experimento es indispensable). Los experimentos DC, y aún más los dinámicos a frecuencias de THz, serán muy importantes.
- Desarrollar y entender las técnicas de autoensamblado. Algunos de los problemas pendientes es resolver el problema de las interconexiones entre elementos activos y encontrar un "sustituto" del transistor. Esto tiene el potencial de desplazar en el futuro una gran parte de las aplicaciones convencionales de los semiconductores, y, si se pudiera hacer por técnicas de autoensamblado, supondría una gran ventaja frente a la tecnología convencional del silicio. Las fábricas de circuitos integrados alcanzan hoy en día los miles de millones de dólares.
- Encontrar maneras nuevas de hacer electrónica y de implementarla (p.ej. computación cuántica, modelos electrónicos simulando sistemas vivos; sistemas híbridos Si-biológicos, autómatas celulares). ¡No intentar duplicar el transistor, sino investigar en nuevos paradigmas electrónicos!. El tema ha sido recientemente planteado de una manera provocadora, preguntando retóricamente que si realmente creemos que lo "nano" es diferente entonces porqué estamos intentando construir transistores una y otra vez.

Los campos de investigación más prometedores son:

- correlaciones en puntos hilos y anillos cuánticos;
- electrónica molecular y contactos atómicos;
- nanomagnetismo;
- transporte cuántico y ruido;
- transporte dependiente de espín y control del espín con corrientes;
- manipulación cuántica y la física de los qubits;
- efectos de proximidad y estructuras híbridas;
- nuevos materiales con propiedades acopladas, p.ej. multiferroicos;
- modelado del transporte, materiales e intercaras.

En España existe una comunidad científica altamente cualificada en estos temas. Sin una industria microelectrónica relevante propia se debe apostar por financiar iniciativas novedosas y favorecer el máximo posible las iniciativas empresariales fruto de las investigaciones. Se debe facilitar y potenciar la consecución de patentes. Se debe potenciar una colaboración real entre la industria, las universidades y los organismos públicos de investigación. En el ámbito industrial se debe exigir la contratación de doctores para realizar investigación.



#### 4. Publicaciones más relevantes en el área (2004-2007)

Las 10 publicaciones que contienen los términos nano\* y electr\* y que han sido publicadas en este período y han recibido más citas por otros autores son, según el ISI Web of Knowledge, las siguientes:

##### Internacionales

- Michalet X., Pinaud F. F., Bentolila L.A., et al. Quantum dots for live cells, in vivo imaging, and diagnostics. *Science* 307 (5709): 538-544 Jan 28 2005. Times Cited: 509.
- Love J. C., Estroff L. A., Kriebel J. K., et al. Self-assembled monolayers of thiolates on metals as a form of nanotechnology. *Chemical Reviews* 105 (4): 1103-1169 APR 2005. Times Cited: 439.
- Burda C., Chen X. B., Narayanan R., et al. Chemistry and properties of nanocrystals of different shapes. *Chemical Reviews* 105 (4): 1025-1102 APR 2005. Times Cited: 407.
- Zhang Y. B., Tan Y. W., Stormer H. L., et al. Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in grapheme. *Nature* 438 (7065): 201-204 NOV 10 2005 Times Cited: 362.
- Novoselov K. S, Geim A. K, Morozov S. V, et al. Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science* 306 (5696): 666-669 OCT 22 2004. Times Cited: 321.
- Kong X. Y, Ding Y., Yang R., et al. Single-crystal nanorings formed by epitaxial self-coiling of polar nanobelts. *Science* 303 (5662): 1348-1351 FEB 27 2004. Times Cited: 319.
- Ozgur U., Alivov Y. I, Liu C., et al. A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Journal of Applied Physics* 98 (4): Art. No. 041301 AUG 15 2005. Times Cited: 309.
- Stone H. A, Stroock A. D, Ajdari A. Engineering flows in small devices: Microfluidics toward a lab-on-a-chip. *Annual Review of Fluid Mechanics* 36: 381-411 2004. Times Cited: 306.
- Katz E., Willner I. Integrated nanoparticle-biomolecule hybrid systems: Synthesis, properties, and applications. *Angewandte Chemie-International Edition* 43 (45): 6042-6108 2004. Times Cited: 303.
- Li D., Xia Y. N Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel?. *Advanced Materials* 16 (14): 1151-1170 JUL 19 2004. Times Cited: 256.

##### Con algún autor español

- Perez-Juste J., Pastoriza-Santos I., Liz-Marzan L. M, et al. Gold nanorods: Synthesis, characterization and applications. *Coordination Chemistry Reviews* 249 (17-18): 1870-1901 SEP 2005. Times Cited: 91.

- Fernandez-Garcia M., Martinez-Arias A., Hanson J. C, et al. Nanostructured oxides in chemistry: Characterization and properties. *Chemical Reviews* 104 (9): 4063-4104 SEP 2004. Times Cited: 85.
- Maspoch D., Ruiz-Molina D., Veciana J. Magnetic nanoporous coordination polymers. *Journal of Materials Chemistry* 14 (18): 2713-2723 2004. Times Cited: 78.
- Perez-Juste J., Liz-Marzan L.M., Carnie S., et al. Electric-field-directed growth of gold nanorods in aqueous surfactant solutions. *Advance Functional Materials* 14 (6): 571-579 JUN 2004. Times Cited: 75.
- Platero G., Aguado R. Photon-assisted transport in semiconductor nanostructures *PHYSICS Reports-Review Section of Physics Letters* 395 (1-2): 1-157 MAY 2004. Times Cited: 73.
- Liz-Marzan L. M. Tailoring surface plasmons through the morphology and assembly of metal nanoparticles. *Langmuir* 22 (1): 32-41 JAN 3 2006. Times Cited: 67.
- Bisquert J., Cahen D., Hodes G., et al. Physical chemical principles of photovoltaic conversion with nanoparticulate, mesoporous dye-sensitized solar cells. *Journal of Physical Chemistry B* 108 (24): 8106-8118 JUN 17 2004. Times Cited: 56.
- Loscertales I. G., Barrero A., Marquez M., et al. Electrically forced coaxial nanojets for one-step hollow nanofiber design. *Journal of the American Chemical Society* 126 (17): 5376-5377 MAY 5 2004. Times Cited: 56.
- Lopez N., Norskov J. K., Janssens T. V. W., et al. The adhesion and shape of nanosized Au particles in a Au/TiO<sub>2</sub> catalyst. *Journal of Catalysis* 225 (1): 86-94 JUL 1 2004. Times Cited: 55.
- Casas-Vazquez J., Jou D. Temperature in non-equilibrium states: a review of open problems and current proposals. *Reports on Progress in Physics* 66 (11): 1937-2023 Nov 2003. Times Cited: 51.

## 5. Proyectos

Los proyectos de investigación relacionados con la nanoelectrónica abarcan todas las convocatorias públicas de investigación, desarrollo e innovación.

### España

#### **Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología**

Dentro de esta acción los proyectos relacionados con la nanoelectrónica son los siguientes:

[NAN2004-09087-C03](#)

Investigador principal: José Luí́s Vicent López

Organismo: Universidad Complutense de Madrid

Título del proyecto: Nanofabricadores Superconductores basados en el efecto Ratchet.





[NAN2004-09094-C03](#)

Investigador principal: Josep Fontcuberta Griñó  
Organismo: Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
Título del proyecto: Nanodispositivos para la fabricación de Spins.

[NAN2004-09109-C04](#)

Investigador principal: Luisa González Sotos  
Organismo: Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
Título del proyecto: Nanoestructuras de semiconductores como componentes para la información cuántica.

[NAN2004-09125-C07](#)

Investigador principal: Soledad Penades Ullate  
Organismo: Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
Título del proyecto: Gliconanopartículas magnéticas biofuncionales con aplicación en biomedicina.

[NAN2004-09133-C03](#)

Investigador principal: Francesc Javier Obradors Berenguer  
Organismo: Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
Título del proyecto: Nanocomposites superconductores y magnéticos por vía química.

[NAN2004-09195-C04](#)

Investigador principal: José Rivas Rey  
Organismo: Universidad de Santiago de Compostela  
Título del proyecto: Nanoestructuras magneto-plasmónicas para biosensores de alta sensibilidad.

[NAN2004-09306-C05](#)

Investigador principal: Francesc Pérez Murano  
Organismo: Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
Título del proyecto: Tecnología para sistemas sensores y electrodos basados en nanotubos de carbono.

[NAN2004-09380-C04](#)

Investigador principal: Alejandro Pérez Rodríguez  
Organismo: Universidad de Barcelona  
Título del proyecto: Síntesis de nanomateriales y estudio de su interacción con diferentes gases para su aplicación en dispositivos sensores.

[NAN2004-09415-C05](#)

Investigador principal: Josep Samitier Martí  
Organismo: Parc Científic de Barcelona  
Título del proyecto: Desarrollo de plataformas nanobioanalíticas basadas en reconocimiento molecular mediante detección óptica y/o electrónica.

Además, existen proyectos relacionados con la nanoelectrónica en las convocatorias:

- Proyectos Cenit
- Acciones CIBER
- Proyectos Consolider

## UE

<http://cordis.europa.eu/improving/home.html>

## 6. Infraestructura necesaria para cumplir objetivos

Las infraestructuras necesarias dependerán de las líneas prioritarias de investigación que se establezcan. Siendo muy conscientes del estado actual de la industria microelectrónica, y de la situación de ésta en nuestro país, se deben apoyar las iniciativas de desarrollo de ideas novedosas y favorecer al máximo posible las iniciativas empresariales fruto de las investigaciones. En ese contexto, se debería definir estrategias claras y apostar decididamente en áreas de la nanoelectrónica donde, a nivel científico, se es competitivo.

## 7. Grupos españoles más relevantes

Una relación bastante completa de los grupos que actualmente trabaja en temas relacionados con la nanoelectrónica se puede encontrar en:

<http://www.nanospain.org/members.php>

### Grupos europeos más relevantes

Una lista de compañías y actividades relacionadas con la nanotecnología en Europa se puede encontrar en:

<http://www.nanovip.com/nanotechnology-companies/europe>

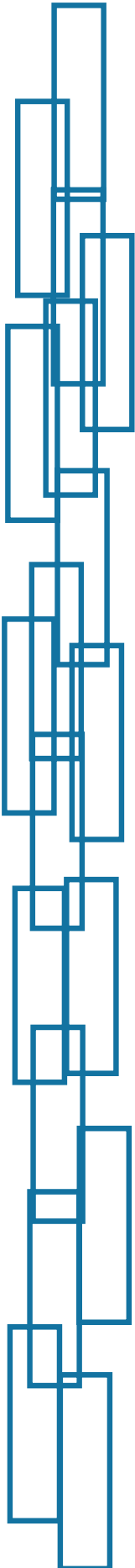
## 8. Iniciativas relevantes (plataformas tecnológicas etc.)

- CIC NanoGUNE, <http://www.nanogune.eu>
- IMDEA Nano, <http://www.imdea.org>
- CIN2, <http://www.cin2.eu>
- 20 Plataformas Tecnológicas Europeas (ETP's ENIAC-Nanoelectronics, en el desarrollo de materiales para la electrónica).

## 9. Conclusiones

La nanoelectrónica será, sin lugar a duda, la tecnología del futuro. Su implementación será un proceso gradual, sustituyendo componentes individuales y eventualmente sistemas complejos de forma íntegra. Las expectativas son grandes, aunque aún está por definir el heredero del transistor. Ése es actualmente el campo de investigación más activo, la fabricación y caracterización de componentes individuales que replacen a los de Si. Ejemplos son los diodos moleculares, interruptores





monoatómicos y el control del transporte en estructuras de punto cuántico. Un segundo campo, con bastante actividad, es la investigación en los posibles interconectores. Aquí, principalmente los nanotubos de carbono y estructuras metálicas u orgánicas auto-ensambladas, están siendo investigados. Muy poco trabajo se está haciendo en las arquitecturas, y el modelado con poder predictivo está en etapas incipientes. Esto es necesario para desarrollar reglas básicas ingenieriles para diseñar sistemas complejos. La situación de la computación cuántica es diferente. Hay mucha actividad en el desarrollo conceptual y de algoritmos. Las implementaciones experimentales de los qubits y del transporte de información entre qubits están comenzando. Quizá una excepción notable es el campo de la criptografía (transporte de información), donde la existencia de estados entrelazados de fotones viajando por guías convencionales ha sido demostrada experimentalmente.

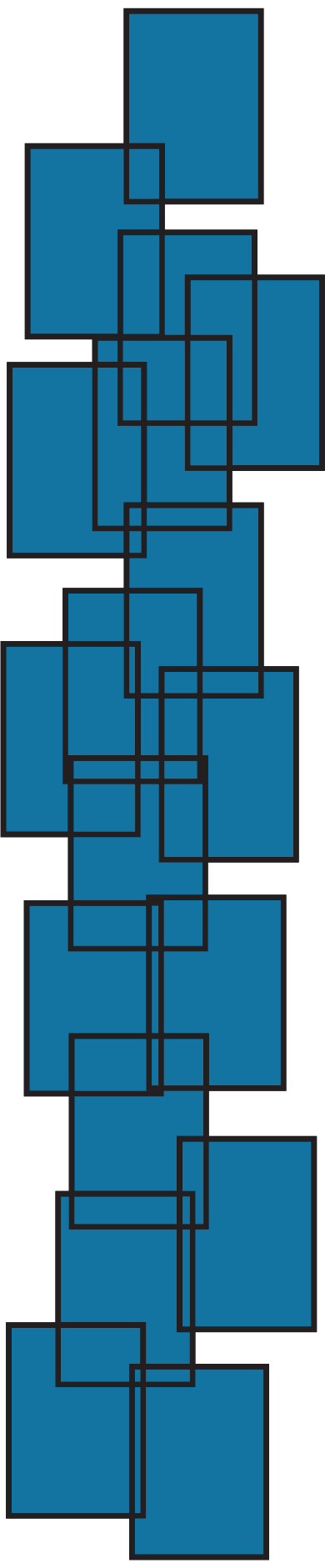
A nivel más general, no está claro con toda certeza que sean los electrones el método elegido para procesar información a largo plazo. La nanoelectrónica debe ser entendida como un campo de investigación general, dirigido a desarrollar el entendimiento de los fenómenos característicos de los objetos nanométricos con la meta de explotarlos en el procesado de la información.







# NANOMATERIALES





## **Fernando Palacio Parada**

**Lugar y fecha de nacimiento:** Madrid, 27 de septiembre 1944.

**Formación:** Licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad de Zaragoza en 1971; doctor en Ciencias en 1974. Estancias postdoctorales en Oxford y Chicago (1976 –1979).

**Carrera profesional:** Profesor del Departamento de Termodinámica de la Universidad de Zaragoza en el 1979; miembro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas desde 1986 y Profesor de Investigación en el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA). Coordina el grupo multidisciplinar TERMOMAG en materiales multifuncionales y nanoparticulados.



## 1. Introducción

El término Nanomateriales engloba todos aquellos materiales desarrollados con al menos una dimensión en la escala nanométrica. Cuando esta longitud es, además, del orden o menor que alguna longitud física crítica, tal como la longitud de Fermi del electrón, la longitud de un monodominio magnético, etc., aparecen propiedades nuevas que permiten el desarrollo de materiales y dispositivos con funcionalidades y características completamente nuevas. En este área, por lo tanto, se incluyen agregados atómicos (clusters) y partículas de hasta 100 nm de diámetro, fibras con diámetros inferiores a 100 nm, láminas delgadas de espesor inferior a 100 nm, nanoporos y materiales compuestos conteniendo alguno de estos elementos. La composición del material puede ser cualquiera, si bien las más importantes son silicatos, carburos, nitruros, óxidos, boruros, seleniuros, telurios, sulfuros, haluros, aleaciones metálicas, intermetálicos, metales, polímeros orgánicos y materiales compuestos.

El área es por lo tanto de carácter horizontal con influencia en prácticamente todos los sectores socio-económicos, desde Sanidad y Salud hasta Energía pasando por Textil, Tecnologías de la Comunicación e Información, Seguridad, Transporte, etc. y un enorme potencial económico. La National Science Foundation de EE.UU. estima que la nanotecnología moverá en 2015 un billón ( $10^{12}$ ) de dólares en el mundo, representando el segmento de nanomateriales el 31% del total. Las estimaciones del Deutsche Bank preveen un mercado en torno a los 370 millardos de dólares ( $10^9$ ) para el 2010 con una tasa de crecimiento del 15% anual.

## 2. Estado del arte (últimos avances, etc.)

Los sectores de actividad más relevantes en Nanomateriales incluyen Materiales Nanoestructurados, Nanopartículas, Nanopolvos, Materiales Nanoporosos, Nanofibras, Fullerenos, Nanotubos de Carbono, Nanohilos, Dendrimeros, Electrónica Molecular, Puntos Quánticos y Láminas Delgadas. La actividad en cada uno de ellos está fuertemente condicionada por la demanda de cada sector socio-económico mencionado anteriormente. Así, el sector Sanidad y Salud está obteniendo excelentes resultados en ingeniería de tejidos, liberación controlada y dirigida de fármacos y agentes de contraste para el diagnóstico por imagen. En el sector de Tecnologías de la Comunicación e Información los avances más destacados están en el desarrollo de la electrónica de espines, spintrónica, y en el avance de la electrónica molecular, incluido el uso de nanotubos de carbono en pantallas. Los desarrollos fotocatalíticos, fundamentalmente basados en el óxido de titanio, están teniendo notable impacto en sectores tan diversos como el de la industria cosmética, medio ambiente y cerámica. La incorporación de nanomateriales funcionales a las fibras textiles está dando lugar a una nueva generación de fibras funcionales con capacidad de responder a estímulos exteriores con nuevas propiedades.

El área está estrechamente relacionada con la de Nanoquímica ya que la preparación de materiales por rutas sintéticas, *bottom-up*, permite un grado de control de tamaño y propiedades muy difícil, sino inalcanzable, de conseguir con técnicas más físicas de reducción de tamaño, *top-down*.

La importancia de los Nanomateriales no sólo está en su tamaño, situado entre la escala macroscópica y la escala atómica, que bien da lugar a propiedades nuevas como mejora otras ya existentes. Estos materiales tienen además la potencialidad de



ser disruptivos, pudiendo dar lugar a tecnologías que sustituyan otras ya existentes con costes muy inferiores, tanto de materias primas como de producción.

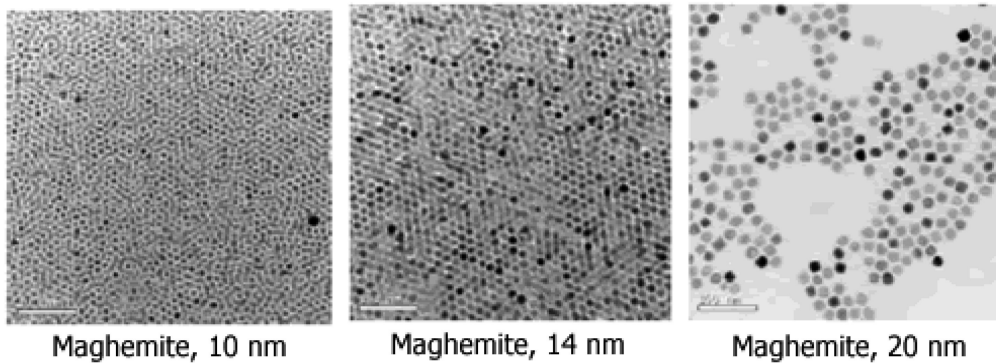


Figura 1. Imágenes de TEM de nano-partículas de maghemita

### 3. Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2008-2011

En un área horizontal de actividad, tanto científica como de innovación, desarrollo y producción, y en un mercado globalizado, las acciones a desarrollar deben forzosamente estar vinculadas a directrices que trascienden el Estado Español. En este sentido, la Comisión Europea ha financiado el Proyecto NanoRoadMap, <http://www.nanoroadmap.it>, con el fin de elaborar *hojas de ruta* para desarrollos nanotecnológicos en tres áreas diferentes: Materiales, Energía y Salud y Sistemas Médicos. Los resultados están abiertos a cualquier Organismo Europeo interesado en planificar estrategias de I+D que incluyan las mencionadas áreas. Esto incluye a la propia Comisión Europea en la preparación y desarrollo de contenidos del VII Programa Marco.

De forma sumaria, las directrices que se proponen son las siguientes:

#### ➤ Materiales nanoestructurados

Cerámicas nanoestructuradas como bio-implantes; imanes permanentes de alta temperatura para motores de aviones; materiales ferromagnéticos para aplicaciones como imanes blandos, almacenamiento de la información, válvulas de espín magnetoresistivas, refrigeración; Mg y Ti nanocristalino como catalizadores para automoción basada en hidrógeno; zeolitas nanoporosas y materiales metalorgánicos para almacenamiento de hidrógeno; sensores y actuadores basados en MEMS y NEMS.

#### ➤ Nanopartículas y Nanopolvos

Las actuaciones a desarrollar se orientan en seis campos diferentes

- Energía, células solares basadas en TiO<sub>2</sub>, almacenamiento de hidrógeno con hidruros metálicos, mejora de electrodos para pilas;
- Biomédico, liberación de fármacos por inhalación particularmente insulina, crecimientos óseos, tratamientos anticáncer, recubrimientos para implantes, agentes de contraste para diagnóstico por imagen;

- Ingeniería, herramientas de corte, liberación controlada de herbicidas y pesticidas, sensores químicos, tamices moleculares, polímeros compuestos reforzados, aditivos para lubricantes, pigmentos, vidrios autolimpiables basados en TiO<sub>2</sub>, tintas magnéticas y conductoras;
- Artículos de consumo, materiales para el deporte, recubrimiento de vidrios, textiles repelentes de agua y de suciedad;
- Medio ambiente, tratamiento de aguas basados en fibras de alúmina y en procesos fotocatalíticos de TiO<sub>2</sub>, recubrimientos autolimpiantes, recubrimientos antirreflectantes, cerámicas y azulejos;
- Electrónica, partículas magnéticas para memorias de alta densidad, partículas magnéticas para apantallamientos EMI, circuitos electrónicos NRAM mediante Cu y Al, ferrofluidos, pantallas con dispositivos de emisión basados en óxidos conductores.

#### ➤ Nanocápsulas

Liberación de fármacos, industria de la alimentación, cosméticos, tratamiento de aguas residuales, componentes de adhesivos, aditivos aromáticos en tejidos, fluidos magnéticos.

#### ➤ Materiales nanoporosos

Membranas con control de poro a nivel atómico, catalizadores como reductores de emisión de contaminantes, catalizadores como elementos de auto-diagnóstico y auto-reparación en materiales, aislantes, aplicaciones medioambientales para reducción de emisiones, purificación de aguas, eliminación de contaminantes, atrapado y eliminación de metales pesados, producción de nanopartículas estructuradas, células solares orgánicas, supercondensadores para almacenamiento de energía, almacenamiento de gases (hidrógeno, metano, acetileno), ingeniería de tejidos para aplicaciones médicas, liberación controlada de fármacos, bioimplantes.

#### ➤ Nanofibras

Filtros, tejidos, cosméticos, esterilización, separaciones biológicas, ingeniería de tejidos, biosensores, órganos artificiales, implantes, liberación controlada de fármacos.

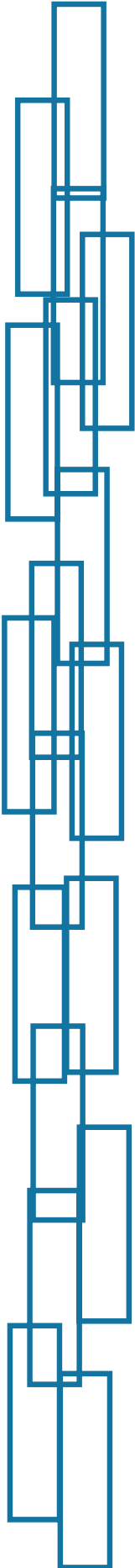
#### ➤ Fullerenos

Lubricantes, reforzado de polímeros y fibras textiles, catalizadores, electrodos para células solares, dispositivos fotónicos, baterías de Li de larga duración.

#### ➤ Nanotubos de carbono

Polímeros conductores, polímeros y cerámicas altamente tenaces, apantallamientos electromagnéticos, electrodos para baterías, componentes para





membranas y células solares, FEDs, nano-osciladores en los giga-hertz, puntas nanoscópicas, músculos artificiales.

➤ **Nanohilos**

Manipulación de elementos biológicos en campos magnéticos, FETs, sensores, detectores, LEDs, almacenamiento de datos de alta densidad, nanodispositivos opto-electrónicos.

➤ **Dendrímeros**

Células artificiales, liberación controlada y dirigida de fármacos, agentes de contraste, toners para impresoras por laser, sensores para diagnóstico, detectores, electrónica molecular, agentes descontaminadores y de filtración particularmente de iones metálicos, adhesivos, lubricantes y baterías en la nanoescala.

➤ **Electrónica molecular**

Aunque la mayoría de las innovaciones aparecidas en los últimos 15 años en los laboratorios no han superado las exigencias de los entornos industriales, la tendencia incremental de costos que suponen las mejoras de las tecnologías existentes, hacen cada vez más atractivas y económicamente factibles la búsqueda de nuevas aproximaciones moleculares a la electrónica. Entre ellas, transistores, conmutadores y rectificadores moleculares, con un objetivo de 1012 bits/cm<sup>2</sup>, tiempos de conmutación en los pico-segundos y 10 meV de consumo de energía por ciclo; desarrollo de hilos moleculares; conmutación electromecánica basada en la deformación controlada de una molécula o su reorientación como alternativa a mover los electrones moleculares.

➤ **Quantum dots**

La mayoría de las directrices propuestas incluyen el anclado de QDs a superficies moleculares o su inserción en líquidos, geles o matrices sólidas. En particular, láseres semiconductores basados en emisión de fotones por pozos cuánticos, fotosensores para la optimización de células solares adaptándolas al espectro solar aumentando la captura de luz, transistores monoelectrónicos, computación cuántica, puertas lógicas, elementos de memoria y grabación, elementos para etiquetado biológico, elementos para diagnóstico médico, LEDs, elementos para células solares reemplazando tintes orgánicos.

➤ **Láminas delgadas**

Aparte de numerosos desarrollos basados en silicio amorfo que ya están en el mercado aunque todavía requieren investigación, como miniaturización de células solares fotovoltaicas, hay interés en desarrollos basados en Si policristalino para papel electrónico, pieles artificiales, telas y ropas inteligentes, MEMS tanto para sensores como para actuadores y estructuras pasivas, actuadores térmicos, TFTs, electrónica flexible para células solares y circuitos integrados; láminas sensibles al espectro de luz para cubrimiento de cristales y ventanas (p. ej., termocrómicos, fotocromicos, electrocromicos), aplicaciones termo-eléctricas tendentes a reducir la conductividad térmica manteniendo una

alta conductividad eléctrica para generadores de potencia, sensores o electroválvulas; recubrimientos funcionales en automoción y aeronáutica.

#### 4. Publicaciones más relevantes en el área (2004-2007)

Entre 2004 y 2007 se han publicado 1046 artículos firmados por autores españoles que han recibido 4119 citas con un "índice-h" de 24. En la figura 2 se muestra el incremento de publicaciones y citas por año. Las 15 publicaciones que contienen los términos nano\* y mater\* y que han sido publicadas en este período por autores españoles y han recibido más citas por otros autores son, según el ISI Web of Knowledge, las siguientes:

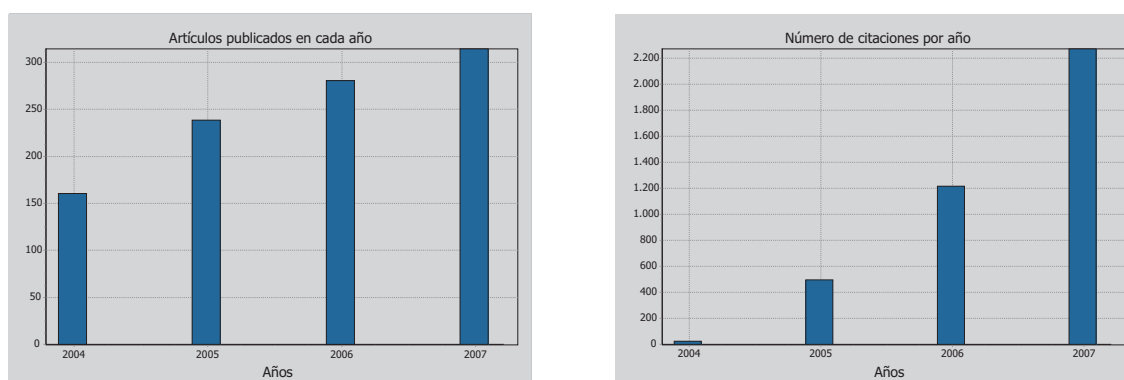
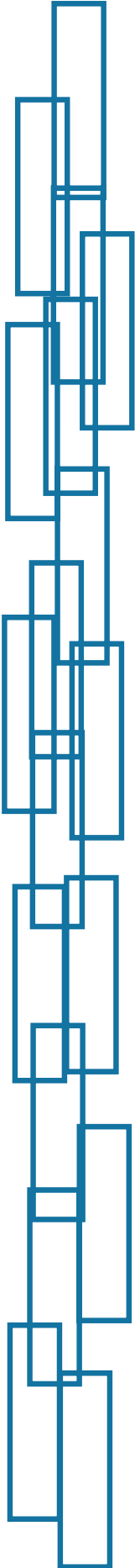


Figura 2. Publicaciones españolas entre 2004 – 2007 y número de citas de las mismas (fuente Web of Knowledge)

1. Perez-Juste J., Pastoriza-Santos I., Liz-Marzan L. M., et al., "Gold nanorods: Synthesis, characterization and applications", *Coord. Chem. Rev.* 249, 1870-1901 (2005).
2. Nogues J., Sort J., Langlais V., et al. "Exchange bias in nanostructures", *Phys. Rep.-Rev. Sect. Phys. Lett.*, 422, 65-117 (2005).
3. Maspoch D., Ruiz-Molina D., Veciana J., "Magnetic nanoporous coordination polymers", *J. Mater. Chem.*14, 2713-2723 (2004).
4. Perez-Juste J., Liz-Marzan L. M., Carnie S, et al. "Electric-field-directed growth of gold nanorods in aqueous surfactant solutions", *Adv. Funct. Mater.* 14, 571-579 (2004).
5. Liz-Marzan LM., "Tailoring surface plasmons through the morphology and assembly of metal nanoparticles", *Langmuir*, 22, 32-41 (2006).
6. Lopez N., Norskov J. K., Janssens T. V. W., et al., "The adhesion and shape of nanosized Au particles in a Au/TiO<sub>2</sub> catalyst", *J. Catalysis* 225, 86-94 (2004).
7. Casas-Vazquez J., Jou D., "Temperature in non-equilibrium states: a review of open problems and current proposals", *Rep. Progr. Phys.* 66, 1937-2023, (2003).



- 
8. Dubbeldam D., Calero S., Vlught T. J. H., et al., "United atom force field for alkanes in nanoporous materials", *J. Phys. Chem. B* 108, 12301-12313, (2004).
  9. Corma A., Atienzar P., Garcia H., et al. "Hierarchically mesostructured doped CeO<sub>2</sub> with potential for solar-cell use", *Nature Mater.* 3, 394-397 (2004).
  10. Merkoci A., Pumera M., Llopis X., et al. "New materials for electrochemical sensing VI: Carbon nanotubes" *Trends in Analytical Chemistry*, 24, 826-838 (2004).
  11. Fuertes A. B., "Synthesis of ordered nanoporous carbons of tunable mesopore size by templating SBA-15 silica materials", *Microporous Mesoporous Mat.*, 67, 273-281, (2004).
  12. Rocha A. R., Garcia-Suarez V. M., Bailey S., et al., "Spin and molecular electronics in atomically generated orbital landscapes", *Phys. Rev. B*, 73, 085414, (2006).
  13. Emmerlich J., Hogberg H., Sasvari S., et al., "Growth of Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> thin films by elemental target magnetron sputtering", *J. Appl. Phys.*, 96, 4817-4826, (2004).
  14. Fuertes A. B., Pico F., Rojo J. M., "Influence of pore structure on electric double-layer capacitance of template mesoporous carbons", *J. Power Sources*, 133, 329-336, (2004).
  15. Pueyo M., Lopez-Sanchez J. F., Rauret G., "Assessment of CaCl<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> extraction procedures for the study of Cd, Cu, Pb and Zn extractability in contaminated soils", *Anal. Chim. Acta*, 504, 217-226, (2004).

## 5. Proyectos

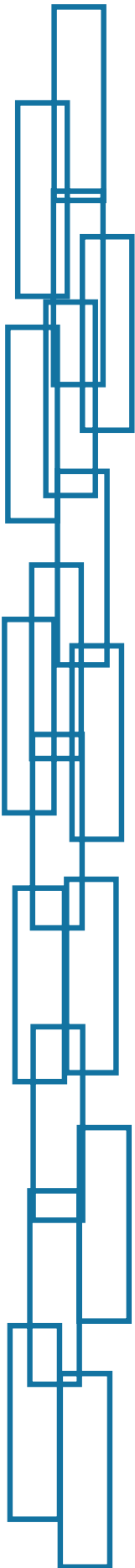
En los últimos 4 años se han aprobado en España diversos proyectos de I+D+i, enmarcados en la iniciativa Ingenio 2010, destinados a fomentar la cooperación público-privada en I+D+i y que pueden agruparse en cuatro grandes programas que difieren en sus enfoques y temáticas. En todos ellos aparecen proyectos de I+D+i que se enmarcan, aunque sea parcialmente, en el campo de los Nanomateriales. Los proyectos más relevantes y sus investigadores principales son los siguientes.

### **Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología**

- J. C. Rodríguez-Cabello, "Nanoestructuras Autoensambladas de Copolímeros en Bloque Protéicos obtenidos mediante Ingeniería Genética".
- C. J. Serna, "Síntesis y Funcionalización de Nanopartículas Magnéticas".
- J. Ruiz-Cabello, "Aplicaciones en Resonancia Magnética Nuclear de Nanopartículas Magnéticas".
- S. Mañes, "Uso de Nanopartículas Magnéticas Cargadas con Citoquinas y Quimioquinas para la Inmunoterapia del Cancer".

- J. Rodríguez-López, "Diseño y Síntesis de Estructuras Dendríticas para Aplicación en Nanofotónica".
- R. Miranda, "Actividad Química, Catálisis y Quiralidad de Monocapas Autoensambladas: un Modelo de Centros Activos Metaloenzimáticos".
- A. Echavarren, "Diseño de Nuevos Modelos de Metaloenzimas derivados de Porphirinas".
- S. Penades, "Gliconanopartículas Magnéticas Biofuncionales con Aplicación en Biomedicina".
- M. Luna, "Estudio de Interacciones Intermoleculares Mediante Nanopartículas Magnéticas Biofuncionales: Desarrollo de Técnicas Dinámicas de AFM en Líquidos y de Biosensores Opto-Magnéticos".
- X. Obradors, "Nanocomposites Superconductores y Magnéticos por vía Química".
- M.A. Lopez-Quintela, "Síntesis y Autoorganización de Nanopartículas mediante Copolímeros de Bloque Funcionalizados".
- I. Pastoriza, "Preparación y Caracterización Óptica de Redes de Nanopartículas Organizadas".
- J. Veciana, "Nanofar-Preparación de Materiales Nanoestructurados Bioactivos Utilizando Fluidos Comprimitos".
- E. Giralt, "Nanofar-Utilización de Péptidos para la Vectorización Intracelular de Nanopartículas".
- M. Gómez-Rodríguez, "Nanocompuestos y Sistemas Multicomponentes de Matriz Polimérica: Investigación Superficial y Morfológica y Correlación con el Comportamiento en Estado Sólido".
- F. Zamora, "Química de Hilos Moleculares".
- A. Sánchez-Barreiro, "Diseño de Nanopartículas Poliméricas como Vectores Sintéticos en Terapia Génica y Aplicación a la Liberación Intracelular de RNA Interferente".
- R. Riguera, "Diseño y Síntesis de Nuevos Biopolímeros como Vectores en Terapia Génica: Aplicación a la Liberación Intracelular de siRNA".
- E. Rodríguez, "Desarrollo de Materiales Nanoporosos para Catálisis Medioambiental: Reducción Catalítica Selectiva de NO".
- J. M. López Nieto, "Desarrollo de Materiales Nanoporosos para Catálisis Medioambiental: Oxidación Selectiva de Sulfuro de Hidrógeno a Azufre".



- 
- A. Sepúlveda, "Desarrollo de Materiales Nanoporosos para Catálisis Medioambiental".
  - M. J. Esplandiú, "Sistemas Sensores y Electrodo Basados en Nanotubos de Carbono: Aplicaciones en Biotecnología Clínica y Análisis de Alimentos".
  - F. X. Rius, "Aplicaciones Medioambientales Basadas en Biosensores de Anticuerpos, Receptores Celulares y Aptámeros".
  - D. S. Levy, "Preparación vía Sol-Gel de Recubrimientos con Actividad Óptica basados en Dispersiones de Nanopartículas Fluorescentes o Quantum Dots".
  - R. Moliner, "Nanofibras de Grafito como Soporte de Electrocatalizadores para su uso en Pilas de Combustible de Electrolito Polimérico de Altas Prestaciones".
  - P. Cabot, "Caracterización Estructural y Electroquímica de Catalizadores de Pt y de Pt/Ru de Pilas de Combustible de Electrolito Polimérico".
  - E. Pastor, "Síntesis y Caracterización Electroquímica de Catalizadores Nanoparticulados para Celdas de Combustible de Electrolito Polimérico".
  - A. Aldaz, "Síntesis, Caracterización y Aplicaciones de Nanopartículas Metálicas como Catalizadores en Pilas de Combustible".
  - I. Obieta, "Nanocomposites Poliméricos para Sensorización de Gases en Aplicaciones Medioambientales y Producción Energética".
  - J. Samitier, "Desarrollo de Plataformas Nanobioanalíticas Basadas en Reconocimiento Molecular Mediante Detección Óptica y/o Electrónica".
  - M.P. Marco, "Desarrollo de Plataformas Nanobioanalíticas Basadas en Reconocimiento Molecular Mediante Detección Óptica y/o Electrónica".
  - M. T. Martínez Fernández de Landa, "Desarrollo de Plataformas Nanobioanalíticas Basadas en Reconocimiento Molecular Mediante Detección Óptica y/o Electrónica".

### **Proyectos Cénit**

- "Desarrollo de nuevo conocimiento y tecnología inteligente en materiales orgánicos y cerámicos en el ámbito de una edificación sostenible" (PROMETEO). Acciona Infraestructura, S.A.
- "Desarrollo de plataformas tecnológicas comunes dirigidas a la identificación de candidatos a desarrollo preclínico en varias áreas terapéuticas" (FHARMA). Genius Pharma, A.I.E. GENIUS.
- "Nueva generación de materiales, guarnecidos, revestimientos y sus procesos de transformación para el interior del automóvil" (REVELACION). Grupo Antolin Ing., S.A. 4) "Abordaje integral de cuatro tipos de cáncer de alta prevalencia y/o malignidad" (ONCNOSIS). Oncnosis Pharma, A.I.E.

- “Desarrollo de Sistemas de Liberación de Fármacos específicos para vía oral y parenteral con incorporación de nuevas tecnologías basadas en la nanotecnología” (NANOFARMA). Pharmamar, S.A.

### Acciones CIBER

La acción más importante de este tipo es el Centro de Investigación Nacional en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN).

### Proyectos Consolider

Nanomateriales entra en estos proyectos como un campo horizontal en el sentido de que proyectos propuestos en diversas áreas, como Ciencias de la Vida, Química, Tecnología Química y Ciencias de la Tierra, o Física, Ingeniería y Electrónica, están centrados en este campo si bien no aparece explícitamente como área.

### Proyectos Europeos

En el periodo 2004-2007 y dentro de muchas de las prioridades temáticas del VI Programa Marco de la UE fueron seleccionados muchos Proyectos de Investigación, tanto de tipo STREP como Proyectos Integrados, Redes de Excelencia y Redes Marie-Curie, en los que participan grupos de investigación españoles. La lista de esos grupos sería muy extensa y por ello no se ha creído conveniente transcribirla aquí en su totalidad pudiéndose obtener en la siguiente dirección electrónica:

<http://cordis.europa.eu/improving/home.html>

## 6. Infraestructura necesaria para cumplir objetivos (2008-2011)

Hay dos tipos de infraestructuras bien diferenciadas en Nanomateriales, según se llegue a éstos mediante técnicas *top-down* o *bottom-up*, y un tercer tipo de interés común. Respecto de las primeras, se trata de instrumentación generalmente muy costosa y que exige equipos de apoyo técnico altamente especializados y cualificados. Dada su incidencia en Nanoelectrónica, los pormenores se describen en el capítulo correspondiente a ése área. Cabe decir aquí que en los últimos años se han venido desarrollando una serie de infraestructuras de este tipo en el país estando el proceso todavía en vías de consolidación de equipos, tanto instrumental como humano. La toma de decisiones sobre nuevas infraestructuras para desarrollo de materiales mediante técnicas *top-down* debería valorar las ya existentes y prestar tanta atención a la adquisición del equipamiento como a la contratación y entrenamiento del equipo humano necesario para mantenerlo.

La infraestructura que se suele emplear en el desarrollo de materiales mediante técnicas *bottom-up* es de tipo medio/pequeño, en general poco costoso, muy diversificado y muy relacionado con el requerido en el área de Nanoquímica. En general se trata de equipamiento que es necesario tenerlo *a pie de laboratorio* por lo que es importante disponer de mecanismos de acceso a la compra de los mismos de manera ágil y eficaz. Solo consiguiendo adquisiciones muy rápidas permitirá conseguir aumentar la competitividad internacional de nuestros grupos y con ello incrementar la eficacia de las inversiones en infraestructuras.

Finalmente, hay un complejo entramado de técnicas de caracterización que interesan a todos los grupos activos en el desarrollo de *Nanomateriales*. Se trata de



técnicas de caracterización, tanto estructural como de las diversas funcionalidades del material. Dejando aparte las grandes infraestructuras, técnicas de neutrones, sincrotrón, ultra-alta microscopía, etc. que requieren el desarrollo de instalaciones excepcionales o el acceso a las mismas dentro de un plano internacional, las demás deberían formar parte de un conglomerado de Servicios Técnicos de Universidades o de Centros de Investigación, con equipos técnicos adecuados y bien dotados del equipamiento accesorio necesario, p. ej., preparación de muestras, condiciones ambientales, etc.

## 7. Grupos más relevantes

Algunos de los grupos españoles más relevantes que trabajan en este campo de investigación son:

- Corma, V. Fornés y J. M. López Nieto (ITQ, CSIC);
- E. Coronado (ICM, Valencia); R. Eritja (IBMB, Barcelona, CSIC);
- J. Rivas, M. López Quintela y R. Riguera Vega (U. Santiago de Compostela);
- F. Palacio (ICMA, CSIC);
- E. Ruiz-Hitzky, C.J. Serna, J. Ruiz-Cabello y D.S. Levy-Cohen (ICMM, CSIC);
- E. Giralt, J. Samitier y P. Cabot (U. Barcelona);
- Solans y M. P. Marco (IIQAB, CSIC);
- R. Miranda, T. Torres y M. Luna Estévez (UAM);
- J. Veciana y X. Obradors (ICMAB, CSIC);
- N. Martín (U Complutense Madrid);
- R. Martínez-Mañez (U. Politec. Valencia);
- J. Nogues y M. J. Esplandiú (UAB);
- L. M. Liz-Marzán (U. Vigo);
- J. Bisquert (U. Jaume I);
- M. A. Pericás y A. Echevarren (ICIQ);
- J. M. García-Ruiz (CSIC Granada);
- M. T. Martínez-Fernández de Landa y R. Moliner Álvarez (ICQ, CSIC);
- Obieta Vilallonga (U Navarra);
- E. Pastor Tejera (U. La Laguna);
- J. C. Rodríguez-Cabello (U. Valladolid);
- M. Gómez-Rodríguez (UPV/EHU);
- S. Mañes Brotón (CNB, CSIC);
- Rodríguez-López (U. Salamanca);
- Aldaz y A. Sepúlveda-Escribano (U. Alicante);
- F. X. Rius (U. Rovira i Virgili);
- S. Penades (BioGune), J. L. Serrano, R. Ibarra, J. Santamaría (U. Zaragoza).

Existen otros grupos españoles destacados cuya relación puede encontrarse en la dirección: <http://www.nanospain.org/members.php>

## 8. Iniciativas más relevantes (Plataformas tecnológicas, etc.)

En los últimos años se han creado en Europa, a iniciativa de diversos consorcios industriales e instituciones académicas y gubernamentales, más de 20 Plataformas Tecnológicas Europeas (ETP's) sectoriales cuya misión principal es la de aglutinar a los principales actores Europeos de la investigación, la industria y la administración, con el fin de impulsar una estrategia común en su campo de trabajo. De esta manera las ETPs se constituyen en los motores de la innovación y la investigación en sus

respectivos sectores promoviendo las prospecciones y estudios así como la difusión de actividades y de investigaciones sobre problemas de actualidad. En la dirección [http://cordis.europa.eu/technology-platforms/home\\_en.html](http://cordis.europa.eu/technology-platforms/home_en.html) se puede encontrar una información detallada de las mismas, y en [http://cordis.europa.eu/technology-platforms/individual\\_en.html](http://cordis.europa.eu/technology-platforms/individual_en.html) se dan los accesos a cada una de ellas.

La mayoría de ellas tienen intereses en los Nanomateriales, y algunas, como European Nanoelectronics Initiative Advisory Council – ENIAC, <http://cordis.europa.eu/ist/eniac/home.html>, y como Nanotechnologies for Medical Applications NanoMedicine, <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/nanomedicine.htm> que están explícitamente dedicadas al área.

Algunas de las Plataformas Tecnológicas Europeas antes mencionadas tienen plataformas espejo en España que desempeñan actividades semejantes pero a nivel nacional. Entre las más activas cabe mencionar la Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible, PTEQUS, <http://www.pteq-sostenible.org>, la Plataforma Española de Nanomedicina, NanoMed, <http://www.nanomedspain.net>, y la Plataforma Tecnológica Española Fotovoltaica, <http://www.ptfv.org>.

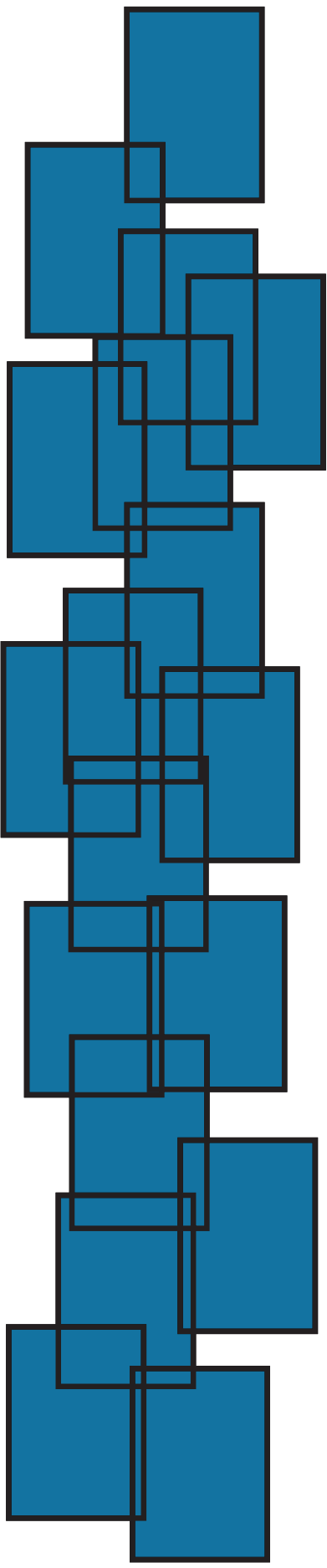
## 9. Conclusiones

Se puede concluir que en España hay grupos preparados y competitivos dentro de un plano global si bien, salvo excepciones, todavía se está lejos de posiciones de liderazgo o de ser referencias mundiales en temas concretos. Se requieren mejores dotaciones, tanto en equipamiento como, sobre todo, en equipo humano de apoyo altamente cualificado y con buenos programas de formación continuada. Todavía existe una enorme carga burocrática en los investigadores responsables de proyectos que podría ser llevada a cabo por personal de apoyo bien preparado. La toma de decisiones para la financiación de equipos y dotación de Centros de investigación debe hacerse en términos de excelencia y productividad que valoren la transferencia de tecnología y creación de riqueza, y con capacidad de reconocer y apoyar grupos emergentes de especial valía.

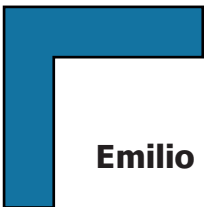




# NANOMETROLOGÍA







## Emilio Prieto



**Lugar y fecha de nacimiento:** Madrid (España), 3 de Septiembre de 1956.

**Formación:** Ingeniero del ICAI en 1981. Ing. Industrial por la Univ. Politécnica de Madrid en 1982 (Reválida). Doctorado (Física Aplicada a la Ingeniería) en la misma universidad. Diploma de Estudios Avanzados en 2003. Tesis sobre "Desarrollo de Comparador Interferométrico Universal para la calibración de patrones materializados de longitud".

**Carrera Profesional:** En 1982 ingresa en la Comisión Nacional de Metrología y Metrología. De 1987 a 1994 es responsable del Laboratorio de Metrología Dimensional de la CNMM. Desde 1994 es Jefe del Área de Longitud del Centro Español de Metrología.

Experto en metrología de longitudes, técnicas de medida y estimación de incertidumbres, es miembro del Comité Consultivo de Longitud (CCL) y del de Unidades (CCU), del Comité Internacional de Pesas y Medidas, persona de contacto sobre Longitud en EURAMET, organización que engloba a los Institutos Nacionales de Metrología europeos, y representante de España ante IMEKO, International Measurement Confederation.

Miembro de la International Society for Optical Engineering (SPIE), de la Red NanoSpain, de los Comités de Metrología Dimensional de ENAC y CTN82 de AENOR y Presidente del grupo AENOR GET15 sobre normalización en Nanotecnologías.

## 1. Introducción

La determinación cuantitativa de propiedades de micro y nanoestructuras es esencial en la I+D y un requisito previo para el aseguramiento de la calidad y el control de procesos industriales. El conocimiento de las dimensiones geométricas de las estructuras es la base a la que están ligadas otras propiedades físicas y químicas. La medición cuantitativa presupone contar con instrumentos de medida exactos y fiables, trazados a patrones de nivel metrológico superior, junto con patrones de calibración y procedimientos de medida ampliamente aceptados<sup>1</sup>.

Cualquier nanosistema basado en dispositivos eléctricos, ópticos, magnéticos, mecánicos, químicos o biológicos requiere de medios metrológicos para caracterizar parámetros críticos como dimensiones, composición, rigidez, rugosidad, concentración de dopantes, coercitividad magnética y otros. Las nanoestructuras requieren un control dimensional exacto para garantizar su correcta fabricación y funcionalidad.

Los sistemas organizados requieren generalmente algún tipo de vía de comunicación entre dispositivos (hilos, guías ópticas, transmisores químicos, etc.), lo que a su vez requiere un control exhaustivo del dimensionado y posicionamiento de los conductos y las interfases. Así, un nanotubo de carbono empleado en un circuito puede generar un circuito abierto, en caso de que sea demasiado corto, o un cortocircuito en un circuito próximo, en caso de ser demasiado largo<sup>2</sup>.

La nanometrología, ciencia de la medida aplicada a la nanoescala (< 100 nm) juega pues un papel esencial en la producción de nanomateriales y dispositivos nanométricos, al permitir determinar no sólo dimensiones críticas, con incertidumbres inferiores al nanómetro, sino fuerzas, masas, propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas, etc. Esta realidad ha sido reconocida por gobiernos, instituciones de investigación y el sector privado en todo el mundo. Así, la *US National Nanotechnology Initiative* ha considerado la investigación sobre instrumentación, metrología y normas dentro de sus prioridades, definiéndola como "paso crucial para la comercialización de la nanotecnología"<sup>3</sup>. También el VIII Informe Nanoforum sobre Nanometrología<sup>4</sup> apunta en la misma dirección, mostrando a la nanometrología como el núcleo de la nanociencia y la nanotecnología.

La propia Comisión Europea<sup>5</sup> afirma que para que la UE pueda desarrollar todo el potencial comercial de la nanotecnología, la industria y la sociedad requieren de medios de caracterización cuantitativa y técnicas de medición fiables, tal que sostengan la competitividad y la confianza en los futuros productos y servicios.

Muchos de los esfuerzos actuales en investigación no están teniendo éxito ni lo tendrán si no existen medios para trasladar estas tecnologías al plano industrial. La infraestructura petrológica necesaria en todo proceso productivo, es aún muy débil,

1 Nanoscale Metrology, Editorial, Meas. Sci. Technol. 18 (2007).

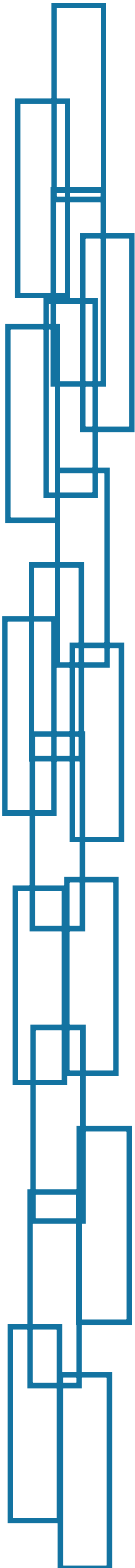
2 The critical role of metrology in nanotechnology. M.L. Schattenburg, H.I. Smith, Proc. SPIE, Vol. 4608, p. 116, Workshop on Nanostructure Science, Metrology and Technology, Gaithersburg, Maryland, 5-7 September 2001.

3 The National Nanotechnology Initiative: Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry (2006) Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology, Committee on Technology, National Science and Technology Council  
[http://www.nano.gov/NNI\\_07Budget.pdf](http://www.nano.gov/NNI_07Budget.pdf)

4 Eighth Nanoforum Report on Nanometrology, Julio 2006, [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)

5 Towards a European Strategy for Nanotechnology (2004) European Commission, Brussels  
[ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano\\_com\\_en.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_com_en.pdf)





incluso inexistente en algunos casos, por lo que debe darse prioridad al desarrollo de la nanometrología<sup>6</sup>, sin la que “la revolución de la nanotecnología está muerta en el agua”<sup>7</sup>.

Precisamente, la nanotecnología no ha eclosionado en forma de producción industrial masiva, en gran parte debido a que no existe un desarrollo paralelo de la metrología necesaria, ni una toma de conciencia sobre la importancia de ésta por parte de los investigadores, desarrolladores de productos y financiadores de la I+D.

Todas las revoluciones industriales han requerido una infraestructura metrológica apropiada, y la nanotecnología no es una excepción a dicha regla <sup>[8]</sup>. Al enfrentarnos a la nanotecnología descubrimos sin embargo que la metrología existente es adecuada para el campo micro pero no para el campo nano, lo que impide pasar del centro de investigación a la producción masiva.

Por ejemplo, aunque en muchos procesos de nanofabricación se emplean microscopios electrónicos o interferómetros láser de alta resolución, se observa gran dispersión en las características de las fabricaciones, fruto de la falta de exactitud y reproducibilidad de los sistemas de medida y posicionado, y de la dificultad de contar con patrones de calibración adecuados a la nanoescala.

No es sencillo crear una infraestructura metrológica adecuada, dada la gran variedad de aplicaciones y desarrollos de la nanotecnología; sin embargo, tampoco se habían dado pasos claros en este sentido, debido a que los financiadores de los planes de I+D, incomprensiblemente, no habían detectado dicha necesidad. Solo recientemente, tras la constitución de EURAMET por parte de los Laboratorios Nacionales de Metrología europeos, la Unión Europea ha decidido financiar a través de un llamamiento específico, el EMRP (*European Metrology Research Programme*)<sup>9</sup>, proyectos de investigación tendentes a mejorar la infraestructura metrológica.

## 2. Estado del arte general

Los instrumentos y técnicas de medición empleados en la nanoescala son muchos y variados: Exploración por sonda (STM, SPM, AFM, KPM, LFM, CMM), Haz de iones (AES, IBA, SIMS), Haz electrónico (TEM, HRTEM, SEM, EELS, AES), Métodos ópticos (NSOM, Raman, DLS), Rayos X (XPS, SRD, XPS, EDX), Técnicas electromagnéticas (SET, ELM, MFM, SCM, SKPM, C-AFM), métodos mecánicos (nanoindentación), etc.

Estos equipos deben hallarse correctamente calibrados para que puedan dar todas sus prestaciones metrológicas pero, en muchos casos, simplemente no existen patrones adecuados para calibrar los equipos, y en otros, carecen de trazabilidad o no especifican la incertidumbre asociada al parámetro que materializan. Ello hace que la comparación entre resultados y métodos resulte imposible, afectando tanto a la

---

6 The critical role of metrology in nanotechnology. M.L. Schattenburg, H.I. Smith, Proc. SPIE, Vol. 4608, p. 116, Workshop on Nanostructure Science, Metrology and Technology, Gaithersburg, Maryland, 5-7 September 2001.

7 Nanometrology in Nanomanufacturing, M.L. Schattenburg, NASA Tech Briefs, Nanotech 2003 Conference, Massachusetts, Oct. 23, 2003.

8 The critical role of metrology in nanotechnology. M.L. Schattenburg, H.I. Smith, Proc. SPIE, Vol. 4608, p. 116, Workshop on Nanostructure Science, Metrology and Technology, Gaithersburg, Maryland, 5-7 September 2001.

9 <http://www.emrponline.eu>

investigación, como a la producción de dispositivos nanométricos, al obtenerse una amplia dispersión de resultados y por tanto, una falta de reproducibilidad.

La dificultad de contar con patrones adecuados deriva de que su propia fabricación requiere técnicas y equipos similares a los empleados en nanofabricación, pero modificados desde el punto de vista metrológico, a fin de cancelar errores y fuentes de incertidumbre. En el caso ideal, la incertidumbre de medida de un equipo debería ser 10 veces inferior a la tolerancia permitida al mensurando pero en la nanoescala, en bastantes ocasiones, la incertidumbre es prácticamente de la misma magnitud que el propio mensurando.

La contribución a la creación de la infraestructura metrológica necesaria está siendo acometida desde hace unos pocos años por los principales Institutos Nacionales de Metrología (INM), a través de Programas de Investigación, como el *Critical Dimension and Overlay Program* del NIST, dirigido a solucionar los problemas de medida de la industria de semiconductores, apuntados en el *International Technology Roadmap for Semiconductors*, ed. 2005, o el *Nanometrology Program* del Materials Science and Engineering Laboratory (MSEL)<sup>10</sup>.

En Europa, el Reino Unido con el *Nanometrology Technology Roadmap*<sup>11</sup>, apoyado desde el DTI (Department of Trade and Industry), Alemania, Italia y Suiza, con programas en los que sus Institutos Nacionales de Metrología (PTB, INRIM, METAS) juegan un papel fundamental de liderazgo, y que han permitido obtener ya desarrollos importantes, como las  $\mu$ -CMM o los MAFM (AFM metrológicos)<sup>12</sup>.

También se ha comenzado a trabajar con ahínco en el desarrollo de normas para la aplicación de métodos comunes de medición y caracterización, contribuyendo así a la obtención de resultados de medida reproducibles y comparables, algo vital para los procesos industriales<sup>13</sup>.

En la actualidad, tanto ISO (TC 229) como CEN (TC 352) están trabajando en la obtención de normas aplicables a las nanotecnologías. Ambos Comités están divididos en tres grupos de trabajo: el primero, dedicado a Nomenclatura y Terminología; el segundo, a Medición y Caracterización, y el tercero dedicado a Salud, Seguridad y Medio Ambiente, incluyendo Toxicología. Los trabajos desarrollados hasta el momento van encaminados a la generación de normas sobre caracterización de nanotubos de pared sencilla y múltiple, y de nanopartículas. España se ha incorporado recientemente a los trabajos de estos Comités Técnicos a través del Grupo GET 15, creado por AENOR, desde donde se contribuye, con la colaboración de expertos de la Universidad y la Empresa, a la creación de las futuras normas internacionales y europeas.

---

10 Nanometrology, FY 2004/2005 Projects, Clare Allocca, Stephen Freiman, Materials Science and Engineering Laboratory, Abril 2005.

11 <http://www.cemmnt.co.uk/index.php>

12 Meas. Sci. Technol. 18 (2007), págs. 319-696.

13 Industrial Nanometrology - Metrology for the next decade, E. Westkämper, M.R.H. Kraus, Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, Universität Stuttgart, Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart.



### 3. Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2008-2011

La infraestructura metrológica española, formada por el Centro Español de Metrología (CEM) y sus Laboratorios Asociados (CIEMAT, IFA, INTA, ISCIII, LCOE, ROA, TPYCEA) no tiene la misma capacidad, ni en medios ni en personal, que las infraestructuras existentes en países como EE.UU., Reino Unido o Alemania, desarrolladas en torno a sus respectivos Laboratorios Nacionales, NIST, NPL y PTB, creados a comienzos del siglo XX precisamente para potenciar sus respectivas industrias nacionales.

La dependencia orgánica de las distintas Instituciones también juega en contra de la facilidad de actuación, a la hora de abordar soluciones a los problemas. Sin embargo, es necesaria una reacción urgente, realizada de manera coordinada. En esta cuestión el Consejo Superior de Metrología puede jugar un papel impulsor de primer orden.

Sería deseable que el CEM y sus Laboratorios Asociados lideraran un cambio significativo de la infraestructura metrológica existente, ampliándola a la nanoescala, pero para ello se debe potenciar de manera urgente sus recursos, no solo económicos, sino principalmente humanos, a fin de formar equipos compuestos por metrologos, investigadores del mundo nano y fabricantes, que analicen las distintas problemáticas y aborden los desarrollos necesarios, como se ha hecho en otros países, tras la realización de amplias encuestas generales y sectoriales.

En definitiva, es necesario potenciar urgentemente la investigación y el desarrollo en nanometrología:

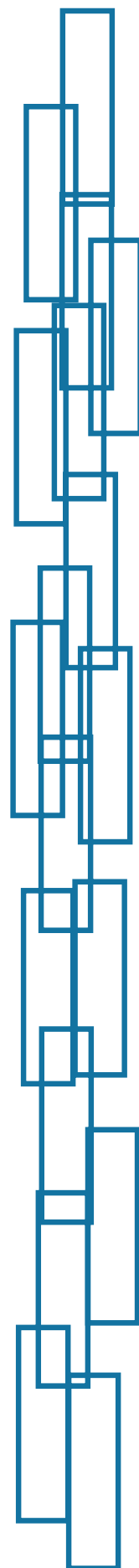
- Financiando infraestructuras metrológicas que sean capaces de proporcionar patrones primarios, servicios de medición y experiencia técnica, como soporte a las mediciones realizadas en la nanoescala en los campos dimensional, eléctrico, óptico, magnético, mecánico, químico y biológico<sup>14</sup>.
- Contratando técnicos y post-docs para trabajar en proyectos para el desarrollo de instrumentación y patrones de calibración, adaptados a las necesidades y mejorados respecto a las versiones comerciales existentes.
- Realizando proyectos interdisciplinares y coordinados, a tres bandas: CEM-Universidad-Empresa.
- Incrementando la participación en proyectos europeos específicos sobre nanometrología, a través del EMRP y, en el próximo futuro, por la vía del Art. 169 del Tratado de la UE.
- Difundiendo los principios y criterios metrológicos entre la comunidad investigadora y la industria, mediante workshops y jornadas de divulgación.

<sup>14</sup> Australian Government, National Measurement Institute, Technical Report 12, Nanometrología: The Critical Role of Measurement in Supporting Australian Nanotechnology, Dr John Miles, First edition, November 2006.

- Intercambiando conocimientos y actuando de manera coordinada: los metrologos no son expertos en nanociencia y nanotecnología y los investigadores y empresarios no son expertos en nanometrología, pero todos pueden ayudar a todos desde sus respectivas visiones del problema.
- Integrando la metrología en los procesos productivos, de forma que aporte reproducibilidad, bajo coste, velocidad y utilización sencilla.
- Potenciando la participación de expertos en el Grupo AENOR/GET15 sobre normalización en nanotecnologías, así como en los Comités Técnicos europeos (CEN) e internacionales (ISO), de forma que se cuente con una posición nacional sólida bien soportada por la realidad existente y la que se desea construir.

#### 4. Publicaciones más relevantes en el área (año 2004-2007)

- The metrological infrastructure and the nano word, E. Prieto, 1<sup>st</sup> NanoSpain Workshop. 12<sup>th</sup> March 2004. San Sebastián. Spain.
- Metrology at the nanoscale, E. Prieto, E-Nano Newsletter nº 7, March 2007, 5-7 [http://www.phantomsnet.net/files/E\\_NANO\\_Newsletter\\_Issue07.pdf](http://www.phantomsnet.net/files/E_NANO_Newsletter_Issue07.pdf)
- International Standards in Nanotechnology, Report by Nanoposts.com, an information exchange website of the Technology Transfer Centre (IoN), September 2007.
- Workshop Nanometrology 2007: Metrology for Nanotechnology, June 14-15 2007, Book of Abstracts, National Institute of Metrological Research (INRIM), Torino, Italy.
- Nano-Metrology Technology Roadmap Update. The Centre of Excellence in Metrology for Micro and Nano Technologies, April 2007.
- Nanoscale Metrology, Editorial, Meas. Sci. Technol. 18 (2007).
- Korpelainen, V. and Lassila, A. (2006) Calibration of a commercial AFM: Interferometric traceability for a coordinate system. NanoScale 2006, Switzerland.
- Leach, R.; Chetwynd D.; Blunt, L.; Haycocks, J.; Harris, P.; Jackson, K.; Oldfield, S. and Reilly, S. (2006) Recent advances in traceable nanoscale dimension and force metrology in the UK. Meas. Sci. Technol. 17(3), 467–476.
- Pekelsky, J. R.; Nistico, B. J.; Eves, B. J. and Decker, J. E. (2006) Imaging laser-diffractometer for traceable grating pitch calibration (poster). NanoScale 2006, Switzerland.
- Project Proposal on Technological Cooperative Framework on Nanoscale Analytical and Measurement Methods (2006) APEC.



- 
- Australian Government, National Measurement Institute, Technical Report 12, Nanometrology: The Critical Role of Measurement in Supporting Australian Nanotechnology, Dr John Miles, First edition, November 2006.
  - The National Nanotechnology Initiative: Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry (2006) Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology, Committee on Technology, National Science and Technology Council [http://www.nano.gov/NNI\\_07Budget.pdf](http://www.nano.gov/NNI_07Budget.pdf)
  - Eighth Nanoforum Report on Nanometrology, July 2006, [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)
  - Cumpson, P. (2006) Roadmap for NPL manufacturing theme: Micro and Nanoparticles: rapid, reliable multi-property analysis techniques National Physical Laboratory.
  - Wilkening, G. and Koenders, L. eds (2005) Nanoscale Calibration Standards and Methods: Dimensional and Related Measurements in the Micro- and Nanometre Range, Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
  - Wilkening, G. (2005) Report to the 10th Working Group on Dimensional Metrology, Consultative Committee for Length, International Bureau of Weights and Measures.
  - Kopanski, J. (2005) Report: Nanotechnology Research and Development at the National Institute of Standards and Technology.
  - Postek, M. T. (2005) Nanometer-scale Metrology. National Institute of Science and Technology, [http://www.mel.nist.gov/div821/webdocs-14/nanoscale-metrology\\_2001.pdf](http://www.mel.nist.gov/div821/webdocs-14/nanoscale-metrology_2001.pdf)
  - Takatsuji, T. (2005) National project: Research and development of 3D nanoscale certified reference materials. 21st APMP General Assembly, TCL Report.
  - Nanoscale Characterisation of Advanced Materials (2005) APEC Workshop, Industrial Technology Research Institute, Taiwan.
  - Report on Nanoparticle Metrology (2005) National Metrology Institute of Japan.
  - Eom, T. B. (2005) Nanometrology in KRISS. 21st APMP General Assembly, TCL Report.
  - Wilkening, G. (2005) Presentation on Dimensional Nanometrology at PTB: Recent Developments, Physikalisch-Technische Bundesanstalt.
  - Brand, U. and Kirchhoff, J. (2005). A micro-CMM with metrology frame for low uncertainty measurements. Meas. Sci. Technol. 16(12), 2489–2497.
  - The Measurement of Engineered Nanoparticles (2005) Presentation to the Micro and Nano Technology Measurement Club, London.

- Lan, Y. P. (2005) Dimensional Nanometrology Developments at CMS. 21st APMP, General Assembly, TCL Report.
- Preliminary Interlaboratory Comparison on Nanoparticle Size Characterization, Comparison Report First Draft (2005) APEC.
- Nanometrology, F. Y. 2004/2005 Projects, Clare Allocca, Stephen Freiman, Materials Science and Engineering Laboratory, Abril 2005.
- The International Technology Roadmap for semiconductors, Ed. 2005, Metrology.
- Nanosciences and Nanotechnologies: An Action Plan for Europe 2005-2009 (2005), European Commission, Brussels, [http://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/pdf/nano\\_action\\_plan\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/nano_action_plan_en.pdf)
- Materials Metrology in Nanotechnology, Robert D. Shull, NIST, Meeting on nanostructured materials, Junio 2005.
- Postek, M. T. (2004) Nanometrology: fundamental for realizing products at the nanoscale. Micro Nano Breakthrough Conference 2004, Washington.
- MNT Roadmap in Metrology, Micro Nano Technology Network, Dr. Alan Smith, September 2004.
- Towards a European Strategy for Nanotechnology (2004) European Commission, Brussels. [ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano\\_com\\_en.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_com_en.pdf)
- First International Symposium on Standard Materials and Metrology for Nanotechnology (2004) National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tokyo Voltage-induced membrane movement, P. Zhang, A. Keleshian, and F. Sachs, Nature 413, 428–432 (2001).
- Atomic Resolution Imaging of the (001) Surface of UHV Cleaved MgO by Dynamic Scanning Force Microscopy, C. Barth and C. Henry, Phys. Rev. Lett. 91, 196102 (2003).

## 5. Proyectos

### España

Pocos proyectos específicos sobre nanometrología se han abordado en España, aunque lógicamente en muchos de los no específicos, la medición y la caracterización constituyen una parte muy importante de los mismos. En lo que respecta al CEM, éste ha abordado y financiado algunos directamente aplicables al campo nano, en colaboración con empresas españolas; p. ej. :

- SARTSI - Sistema de detección y eliminación de no linealidades en sistemas interferométricos láser de medida, para la calibración de actuadores



piezoeléctricos y sistemas de nanoposicionado, con incertidumbre subnanométrica.

A partir de 2008 el CEM va a encarar un nuevo proyecto nacional en este campo:

- Desarrollo y construcción de un AFM metrológico para la calibración de patrones y muestras en el rango nanométrico y subnanométrico.

Dicho sistema, realizado en colaboración con socios españoles, integrará técnicas de microscopía de campo cercano (SPM, Scanning Probe Microscopy) e interferometría de alta resolución a partir de fuentes láser estabilizadas.

### Unión Europea

Nanostrand es un proyecto del VI Programa Marco que pretende identificar nuevas necesidades de medida, tecnologías y normas. Los resultados se traducirán en dos roadmaps, uno sobre prioridades de investigación en nanometrología y otro sobre prioridades en normalización, que deben contribuir al desarrollo y explotación de las nanotecnologías en Europa.

Por su parte, los Institutos Nacionales de Metrología englobados en EURAMET (European Association of National Metrology Institutes) llevan tiempo participando en comparaciones de medidas, con el fin de comprobar el estado de la técnica y la compatibilidad de los resultados a la hora de calibrar patrones empleados en el mundo nano. Entre estas comparaciones cabe citar:

- NANO4: Calibración de retículos holográficos monodimensionales (*1D gratings*).  
Participantes: 11 laboratorios nacionales.  
Referencia: Nano 4 Final Report, 2000, 34 págs.
- NANO3: Calibración de patrones a trazos (line scale standards).  
Participantes: 13 laboratorios nacionales.  
Referencia: Metrología, 2003, 40, Tech. Suppl., 04002.
- NANO2: Calibración de patrones de escalón (*step height standards*).  
Comentarios: Comparación entre mediciones realizadas por varios métodos de medida: instrumentos de palpador, microscopios interferenciales y microscopios de fuerza atómica.  
Participantes: 14 laboratorios nacionales, entre ellos el CEM.  
Referencia: Metrología, 2003, 40, Tech. Suppl., 04001.

En la actualidad, están en marcha las siguientes comparaciones, con participación del CEM, organizadas por EURAMET (European Association of National Metrology Institutes):

- EURAMET.L-K7.2006: Calibración de patrón a trazos (line scale) de cuarzo.
- EURAMET-672: Caracterización de planitud mediante interferometría de Fizeau, con incertidumbre nanométrica.
- EURAMET-866: Calibración interferométrica de actuadores para microdesplazamientos, con resolución e incertidumbre subnanométricas.

A comienzos de 2008, los Institutos Nacionales de Metrología, entre ellos el CEM, han iniciado los proyectos del EMRP (European Metrology Research Programme) financiados por la Unión Europea. Entre éstos destacan:

- JRP1.1 - Calibración trazable de nanopartículas.
- JRP1.4 - Nuevas rutas para la trazabilidad en nanometrología.
- JRP1.2 - Interacciones Punta-Muestra en microscopios de sonda de barrido (AFMs).

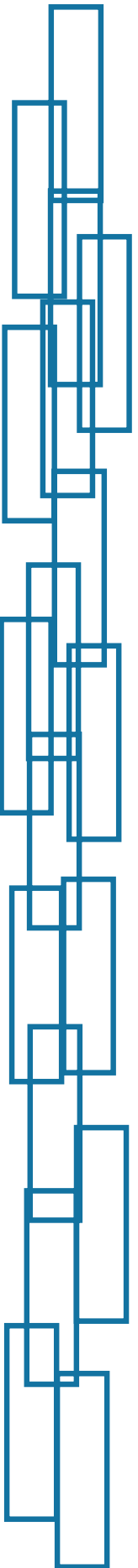
## 6. Infraestructura necesaria para cumplir objetivos (2008-2011)

La reducción de dimensiones, un mejor control de los parámetros electromagnéticos de los nanodispositivos, y nuevas tecnologías de interconexión en 3D (quizá mediante nanotubos de carbono) serán posiblemente los retos a los que se enfrente la nanometrología. En cualquiera de los campos de la nanotecnología, serán necesarios nuevos instrumentos, capaces de medir propiedades cuya magnitud se sitúa en la actualidad muy poco por encima de su incertidumbre.

La infraestructura que habría que desarrollar, mediante acciones coordinadas entre metrologos, investigadores e industrias, debería comprender:

- Grupos de trabajo permanentes que sean capaces de desarrollar soluciones metrológicas aplicables a la nanoescala. Físicos, químicos, metrologos, ingenieros, expertos en software, etc., deben pensar conjuntamente, aportando sus conocimientos.
- Red de Centros coordinados, que lleven a la práctica las ideas más prioritarias, apoyándose en la industria nacional para la fabricación de prototipos y soluciones (estos modelos se han experimentado con éxito en otros países de nuestro entorno).
- Diseño y fabricación de instrumentos metrológicamente correctos, o mejora de modelos comerciales, que permitan calibrar con baja incertidumbre los patrones empleados en la nanoescala.
- Diseño y fabricación de nuevos patrones de calibración, dotados de trazabilidad, adaptados a los distintos procesos de medición y caracterización.
- Conjunto de normas, en cuya gestación se haya colaborado activamente, que faciliten el camino de la producción masiva de nanodispositivos y nanomateriales.

En cualquier caso, dado que España no es, en general, un país fabricante de instrumentación, sino usuario de la misma, al menos se debe mantener una buena base de datos con información actualizada sobre desarrollos en nanometrología, lo que es fácil gracias a la colaboración existente entre los institutos de metrología europeos, a través de EURAMET y sus Comités Técnicos. De esta forma, mediante una divulgación y difusión continua del conocimiento, ésta llegará a Investigadores y empresas españolas, ayudando a mejorar la tecnología y métodos empleados en la nanoescala (*la información es poder*).



Concretamente, el CEM podría actuar como correa de transmisión entre los Institutos Nacionales de Metrología y la sociedad española, para mantener informados a los distintos agentes del estado actual de la nanometrología y del futuro que se está construyendo, realimentando al sistema con los intereses nacionales.

## 7. Grupos más relevantes

### España

- CEM (Centro Español de Metrología)-Área de Longitud: <http://www.cem.es>
- NanoSpain: <http://www.nanospain.org>
- CIMTAN (Círculo de Innovación en Materiales, Tecnología aeroespacial y Nanotecnología): <http://www.madrimasd.org/cimtán>
- AENOR/GET 15: <http://www.aenor.es>

### Europa

- EURAMET (European Association of National Metrology Institutes): <http://www.euramet.eu>
- EMRP (European Metrology Research Programme): <http://www.emrponline.eu>
- MNT Network (Measurement Club)(UK): <http://mnt.globalwatchonline.com>
- PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Germany): [http://www.ptb.de/index\\_en.html](http://www.ptb.de/index_en.html)
- NPL (National Physical Laboratory, UK): <http://www.npl.co.uk>
- CEN/TC 352: <http://www.cen.eu/cenorm/homepage.htm>

## 8. Iniciativas relevantes (Plataformas Tecnológicas, etc.)

### España

No se conocen plataformas tecnológicas o iniciativas relevantes específicas en el campo de la nanometrología, salvo los proyectos acometidos por el CEM, ya mencionados anteriormente en el apartado 5 de este informe.

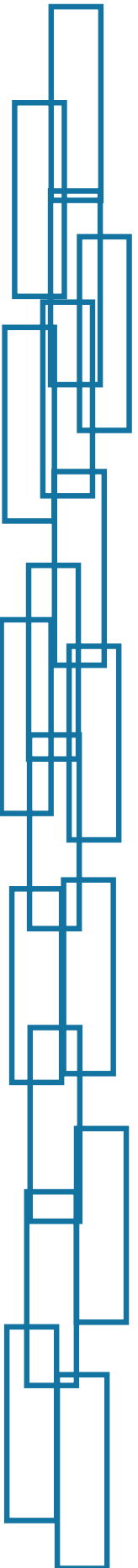
### Europa

En Europa existe una variedad de iniciativas y plataformas, normalmente ligadas a los respectivos Institutos Nacionales de Metrología, con colaboración de Universidades Técnicas y también fabricantes de instrumentación, en aquellos países que tienen un mayor nivel de desarrollo industrial (Reino Unido, Alemania, Suiza).

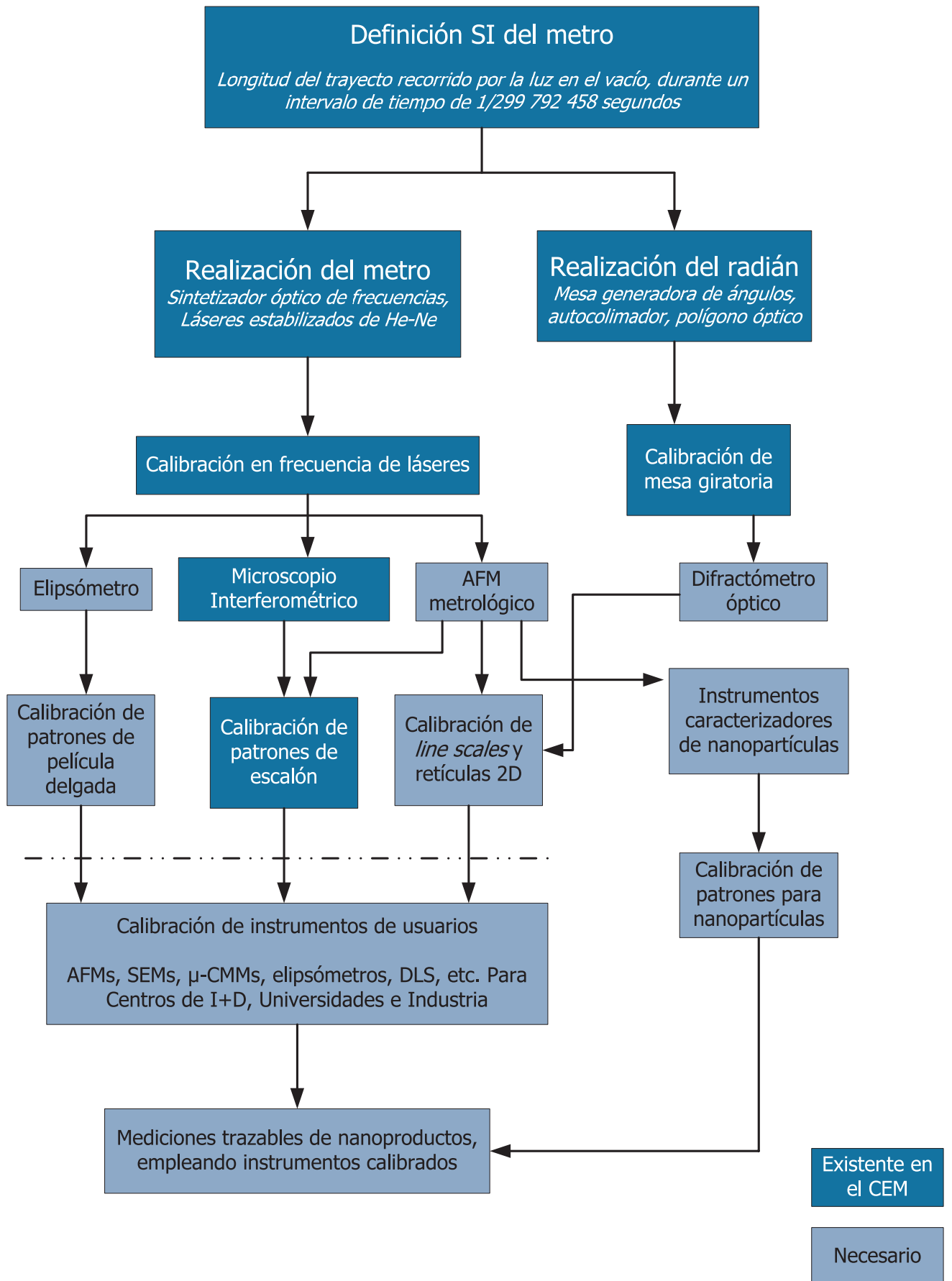
Las iniciativas suelen canalizarse a través de las organizaciones y programas que se han mencionado en el apartado de esta misma página: Grupos europeos más relevantes.

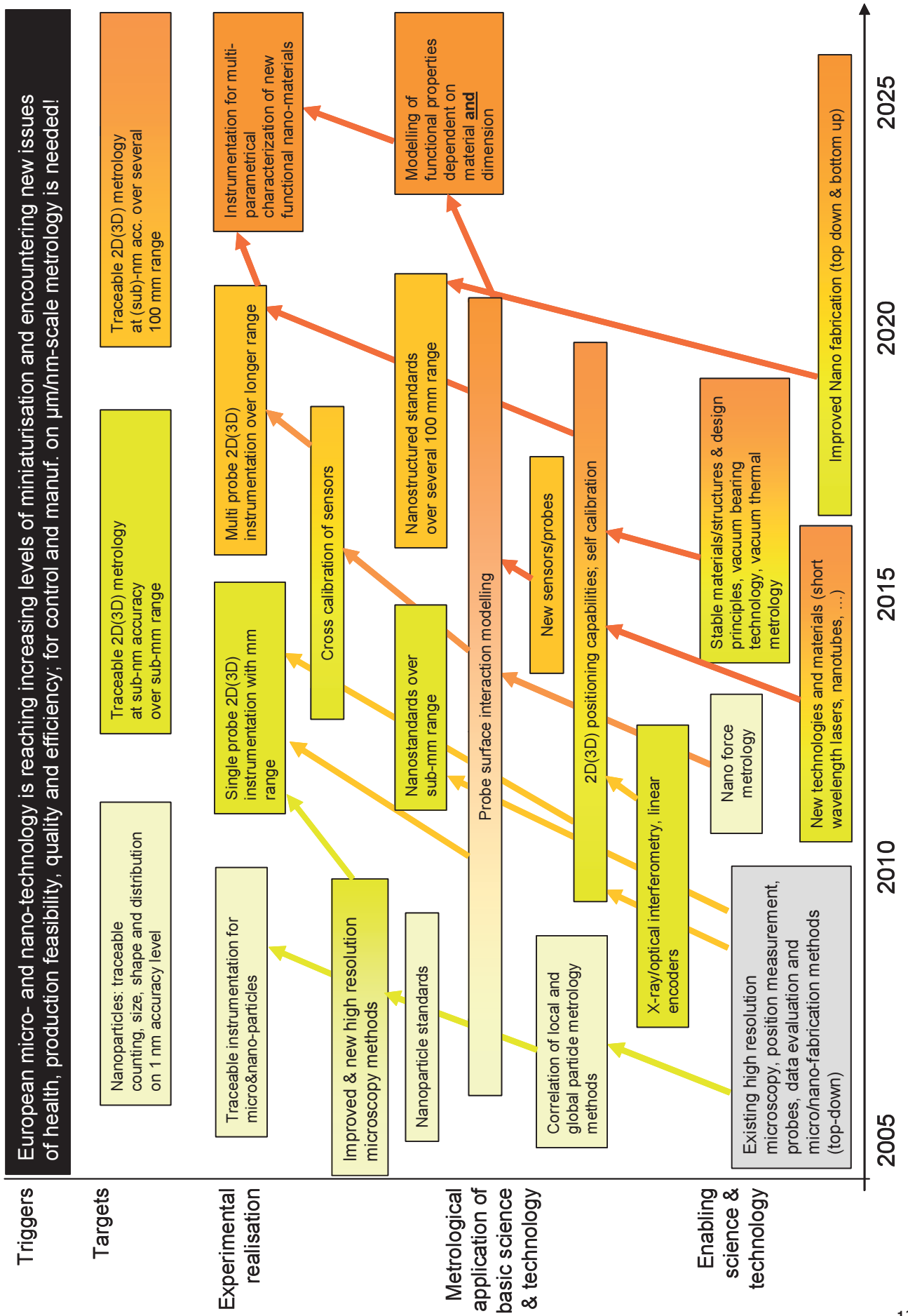
## 9. Conclusiones y Recomendaciones.

- Las nanoestructuras y los nanodispositivos requieren un control dimensional exacto para garantizar su correcta fabricación y sus prestaciones.
- La infraestructura metrológica necesaria en todo proceso productivo es aún muy débil, incluso inexistente en algunos casos, por lo que debe darse prioridad al desarrollo de la nanometrología.
- La nanotecnología no ha dado aún el gran salto a la producción industrial masiva, en parte debido a que no existe un desarrollo paralelo de la infraestructura metrológica en la nanoescala.
- En general, la metrología existente es adecuada para el campo micro pero no para el campo nano.
- Deben financiarse programas educativos para mejorar las capacidades de la Universidad y de las empresas, creando comunidades multidisciplinares dedicadas a la investigación sobre metrología aplicable a la nanoescala.
- Las características de las nanofabricaciones presentan gran dispersión, fruto de la falta de exactitud y precisión (reproducibilidad) de los sistemas de medida, por lo que la metrología debe integrarse en los procesos productivos.
- No existen patrones de calibración que cubran todas las necesidades de la nanoescala, por lo que es necesario desarrollarlos con urgencia.
- Deben fabricarse instrumentos metrológicamente fiables, que permitan la caracterización adecuada de los nuevos patrones, empleando éstos posteriormente para dotar de trazabilidad a los instrumentos habituales.
- Debe mantenerse una buena base de datos con información actualizada sobre desarrollos en nanometrología.
- Debe mejorarse la divulgación y difusión continua del conocimiento, desde los Institutos de Metrología hacia los agentes implicados en el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología. El CEM podría actuar en este sentido como correa de transmisión de información entre los Institutos Nacionales de Metrología y la sociedad española.
- Debe incrementarse la participación de expertos en el Grupo AENOR/GET15 sobre normalización en nanotecnologías, y en los Comités Técnicos del CEN, Organismo Europeo de Normalización.



Esquema de trazabilidad en nanometrología, propuesto por el CEM

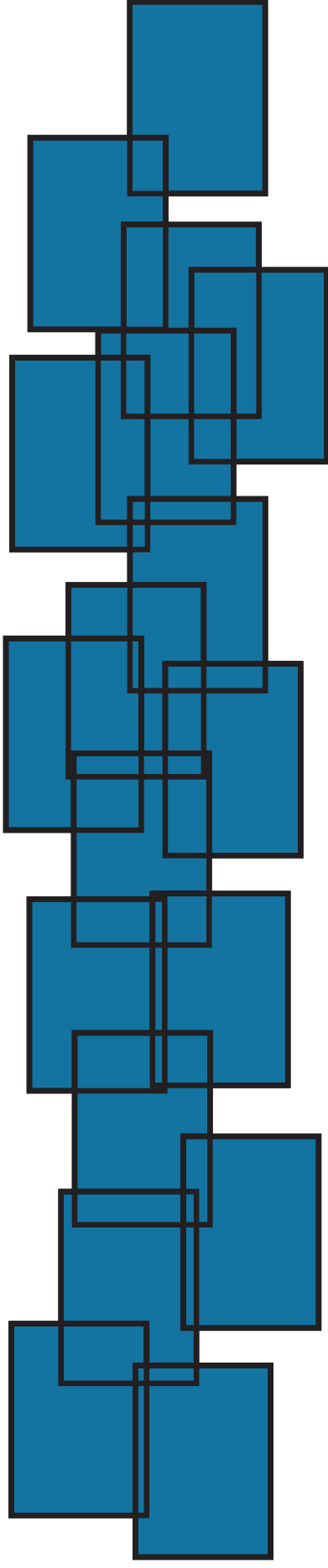






# NANOÓPTICA

# NANOFOTÓNICA







## **Antonio García Martín**

**Lugar y fecha de nacimiento:** Madrid (España), 1971

**Formación:** Licenciado en Ciencias Físicas en la Universidad Autónoma de Madrid en 1996. Doctorado cuatro años más tarde en esta misma universidad.

**Carrera Profesional:** Tras una estancia postdoctoral de dos años en la Universidad de Karlsruhe se incorporó al Instituto de Microelectrónica de Madrid, donde es Científico Titular desde el año 2005. Su actividad actual se centra en el área de magneto-plasmónica, siendo fundamentalmente responsable de los aspectos teóricos de la línea.



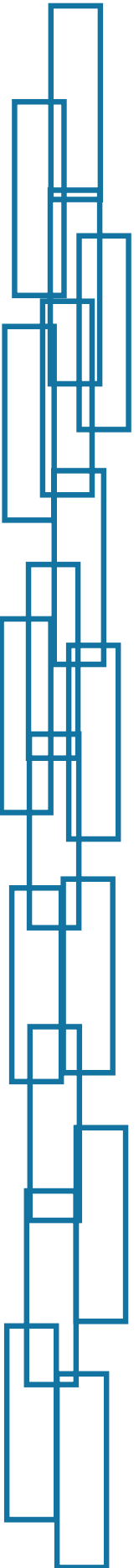
## 1. Introducción

La nanofotónica no es, como en la mayoría de las disciplinas inmersas en "lo nano", el resultado de la mera reducción del tamaño de los elementos bajo estudio. A menudo, sucede que las propiedades intrínsecas de estos cambian al reducirse el tamaño. En otros casos lo que da lugar a ciencia novedosa es el hecho de encontrarse con elementos y distancias características commensurables con la longitud de onda de la luz (el rango óptico va del azul -400nm aprox.- al rojo -600nm aprox.-). Para convertirse en el heredero de la óptica convencional es aún necesario avanzar en diversos frentes, en particular en el desarrollo de materiales, tanto en la aproximación *ascendente* o *bottom-up* (ensamblar entidades para formar una estructura mayor), como en la *descendente* o *top-down* (miniaturización) y en la integración de los mismos con otros sistemas nanométricos. Se espera que las aplicaciones derivadas de la nanofotónica superen en variedad a las de la óptica clásica y se sitúen no sólo en el marco de las comunicaciones y la sociedad de la información, sino en otras áreas como la nanomedicina (diagnostico a través de imágenes ultra precisas "in vivo") o los sensores (biosensores de alta sensibilidad "sin marcadores").

## 2. Estado del arte (últimos avances, etc.)

La salud de la nanofotónica en España es razonablemente buena, a tenor de las actividades, cada vez más numerosas y con más relevancia, en las que la temática tiene una situación visible. Prácticamente en cada centro "nano" que se está creando en España la nanofotónica está presente, aunque en algunas ocasiones de forma indirecta. Esto puede verse como una consecuencia directa de la interdisciplinaridad presente en el campo, y que hace que áreas más generales, como pueden ser la *ciencia de materiales* o las *tecnologías de la información y las comunicaciones* sean los nichos donde encontrar grupos y proyectos versados en nanofotónica. Dentro de estas dos grandes áreas, y en relación con la nanofotónica, actualmente existen dos temáticas con un impulso importante: la plasmónica y las estructuras periódicas, donde se enmarcan los cristales fotónicos y los metamateriales. En ambos casos la base está en el desarrollo de materiales y sus aplicaciones principales en las comunicaciones. El desarrollo de los materiales se hace, también en las dos temáticas, desde las dos aproximaciones nano: ascendente o "bottom-up" y descendente o "top-down". La ascendente se basa principalmente en síntesis química, en el caso de la plasmónica para desarrollar partículas metálicas nanométricas y en el caso de los cristales fotónicos para obtener estructuras auto-organizadas de semiconductor. En el caso de las descendentes la metodología está basada en litografías de alta resolución, donde los avances obtenidos hasta la fecha permiten ya obtener motivos nanométricos con gran perfección.

Una de las propiedades de las que adolecen los sistemas o estructuras nanofotónicas es que sus propiedades no pueden ser alteradas o manipuladas desde el exterior, es decir son elementos pasivos. Aquí esta naciendo un nuevo campo de investigación fundamental, donde se busca la obtención de materiales con las mismas o similares características a los que ya se tienen pero que sus propiedades ópticas respondan en presencia de elementos externos, es decir, sean elementos activos. Estos elementos externos pueden ser temperatura, presión, campos eléctricos o campos magnéticos, siendo estos dos últimos los más prometedores.



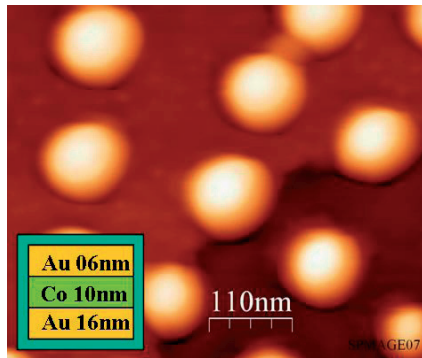


Figura 1. Imagen de AFM de una estructura plasmónica magneto-ópticamente activa formada por discos consistentes en tricapas de oro/cobalto/oro obtenidas por litografía coloidal. Cortesía de J.M. García Martín (Instituto de Microelectrónica de Madrid-CSIC). *Small* (en prensa 2007).

En cuanto a las aplicaciones, las más comunes se enmarcan en el área de las comunicaciones (dispositivos láseres, cavidades, guías y espejos sin pérdidas, etc.), donde la capacidad de control externo está siendo ya buscada a través de elementos electro-ópticos y, sobre todo, magneto-ópticos. Pero en el área de dispositivos sensores hay una gran actividad en la aplicación de sistemas plasmónicos en los que la modulación magnética ayudará a aumentar considerablemente la sensibilidad.

### 3. Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2008- 2011

En consonancia con las áreas de aplicación de la tecnología nanofotónica están las actuaciones a desarrollar en los próximos años. No obstante, las actuaciones no se encuentran directamente, estando englobadas en otras áreas. Por ejemplo, en las siete líneas que forman el "eje nano" la nanofotónica no aparece reflejada claramente salvo en una: *Nanotecnologías para la información y telecomunicaciones*. En otras dos se puede atisbar un nicho de aplicabilidad de la nanofotónica: *Nanotecnologías aplicadas en materiales y nuevos materiales en el ámbito de la salud* y *Materiales inteligentes basados en el conocimiento con propiedades a medida y materiales y recubrimientos de altas prestaciones para nuevos productos y procesos*.

Como puede verse, aunque la temática está presente y ejerce un papel muy relevante en el futuro plan nacional, se echa en falta un impulso dirigido y restringido al desarrollo de la base de la nanofotónica y no sólo a través de sus aplicaciones. Esto está un poco más avanzado en el séptimo programa marco de la UE donde la temática aparece bien reflejada, aunque englobada en las convocatorias de *Nanosciences*, *Nanotechnologies*, *Materials and new Production Technologies* e *Information and Communication Technologies (Objective ICT-2007.3.5: Photonic components and subsystems)*.

En cuanto a las demandas de la sociedad la nanofotónica está presente en diferentes áreas, con foco en diferentes tópicos:

- **Energía:** Materiales superconductores y semiconductores, diodos emisores de luz y células solares.
- **Tecnologías de la Información y la Comunicación:** Materiales luminiscentes para pantallas, OLEDs, materiales para almacenamiento y transporte de la información, holografía, baterías, materiales ópticos activos.
- **Salud y Cuidados Personales:** Dispositivos sensores "label-free" de tipo "lab-on-a-chip".

- **Calidad de Vida:** Dispositivos para una iluminación más eficiente, sensores de entorno, materiales electro-crómicos inteligentes y sensores de calidad para alimentos.

#### 4. Publicaciones más relevantes en el área (año 2004-2007)

Las 10 publicaciones que han sido publicadas en este período por autores españoles y han recibido más citas encontradas en el ISI Web of Knowledge, son las siguientes:

1. Pendry J. B., Martin-Moreno L., Garcia-Vidal F. J., *Mimicking surface plasmons with structured surfaces*, Science 305, 847-848 (2004).
2. Perez-Juste J., Pastoriza-Santos I., Liz-Marzan L. M., et al., *Gold nanorods: Synthesis, characterization and applications*, Coordination Chemistry Reviews 249, 1870-1901(2005).
3. Liz-Marzan L. M., *Tailoring surface plasmons through the morphology and assembly of metal nanoparticles*, Langmuir 22, 32-41 (2006).
4. Bisquert J., Cahen D., Hodes G., et al., *Physical chemical principles of photovoltaic conversion with nanoparticulate, mesoporous dye-sensitized solar cells*, Journal of Physical Chemistry B 108, 8106-8118 (2004).
5. Moreno E., Garcia-Vidal F. J., Martin-Moreno L., *Enhanced transmission and beaming of light via photonic crystal surface modes* Physical Review B 69, 121402 (2004).
6. Corma A., Atienzar P., Garcia H., et al., *Hierarchically mesostructured doped CeO<sub>2</sub> with potential for solar-cell use*, Nature Materials 3, 394-397 (2004).
7. Palacios-Lidon E., Galisteo-Lopez J. F., Juarez B. H., et al., *Engineered planar defects embedded in opals*, Advanced Materials 16, 341 (2004).
8. Karrai K., Warburton R. J., Schulhauser C., et al., *Hybridization of electronic states in quantum dots through photon emission*, Nature 427, 135-138 (2004).
9. Tetreault N., Mihi A., Miguez H., et al., *Dielectric planar defects in colloidal photonic crystal films*, Advanced Materials 16, 346 (2004).
10. Correa-Duarte M. A., Sobal N., Liz-Marzan L. M., et al., *Linear assemblies of silica-coated gold nanoparticles using carbon nanotubes as templates*, Advanced Materials 16, 2179 (2004).

#### 5. Proyectos

En los últimos 4 años se han aprobado en España diversos proyectos de I+D+i, enmarcados en la iniciativa **Ingenio 2010**. En todos ellos aparecen proyectos que de una u otra forma estarían enmarcados en la temática de Nanofotónica, aunque sea de manera parcial u ocultos en otra gran área. Los proyectos más relevantes y sus investigadores principales son los siguientes.



## **Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología**

- Cefe López Fernández, "Integración jerárquica de materiales en estructuras 3d para nanofotónica".
- Julián Rodríguez López, "Diseño y síntesis de estructuras dendríticas para aplicación en nanofotónica".
- Luís Manuel Liz Marzán, "Nanopartículas integradas en materiales para nanofotónica".
- Pablo Aitor Postigo Resa, "Estructuras bidimensionales para nanofotonica".
- Francisco Javier García De Abajo, "Teoría de materiales jerarquizados para nanofotónica".
- Luisa González Sotos, "Nanoestructuras de semiconductores como componentes para la información".
- Enrique Calleja Pardo, "Nanoestructuras de semiconductores como componentes para la información cuántica".
- Juan Martínez Pastor, "Nanoestructuras de semiconductores como componentes para la información cuántica".
- José Manuel Calleja Pardo, "Nanoestructuras de semiconductores como componentes para la información cuántica".
- José Rivas Rey, "Nanoestructuras magneto-plasmónicas para biosensores de alta sensibilidad".
- Gaspar Armelles Reig, "Nanoestructuras magneto-plasmónicas para biosensores de alta sensibilidad".
- Gonçal Badenes Guía, "Nanoestructuras magneto-plasmónicas para biosensores de alta sensibilidad".
- Francisco José Sánchez Baeza, "Nanoestructuras magneto-plasmónicas para biosensores de alta sensibilidad".
- Agustín Rodríguez González-Elipe, "Capas absorbentes y de puntos cuánticos preparadas mediante pecvd para su integración en dispositivos ópticos".
- David S. Levy Cohen, "Preparación vía sol-gel de recubrimientos con actividad óptica basados en dispersiones de nanopartículas fluorescentes o quantum dots".
- Héctor Guerrero Padrón, "Nanotecnología para sensores comunicaciones ópticas difusas y nuevos sensores por fibra óptica".
- Carlos Angulo Barrios, "Estructuras nanofotónicas".

## Proyectos Consolider

En las dos convocatorias de este programa fueron concedidos 2 grandes proyectos de investigación aplicados que tratan aspectos diversos de la *Nanofotónica* y agrupan a muchos grupos de investigación de diversas instituciones. Sus coordinadores son los siguientes: 1) Jurgen Eschner, Fundación Priv. Inst. Ciencias Fotónicas y 2) Niek van Hulst, Fundación Priv. Inst. Ciencias Fotónicas.

## Proyectos Europeos

En el periodo 2004-2007, dentro del sexto Programa Marco de la UE fueron seleccionados varios Proyectos de Investigación, de todos los tipos, tanto STREP como Proyectos Integrados, Redes de Excelencia y Redes Marie-Curie, en los que participan grupos de investigación españoles. Los proyectos están en su mayoría integrados en dos de las temáticas: Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and new Production Technologies (NMP) e Information and Communication Technologies (ICT), la lista sería muy extensa ya que hay una gran participación y, en total, los proyectos financiados son 411 en NMP y 1172 en ICT, la lista completa puede encontrarse en: <http://cordis.europa.eu/fp6/projects.html>.

## 6. Infraestructura necesaria para cumplir objetivos (2008-2011).

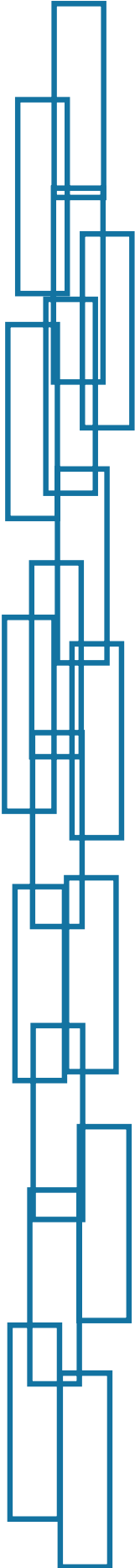
La infraestructura que se suele emplear en Nanofotónica es de tipo *medio/pequeño* y es, en general, orientada a la fabricación y a la caracterización de nanoestructuras. Por mencionar unas cuantas: salas de litografía de alta resolución, tanto para metales como para semiconductores, síntesis química, deposición con control atómico, técnicas de caracterización de alta resolución tanto temporal como espacial (sondas locales).

Un aspecto que es en general destacable es la necesidad de que este tipo de infraestructura sea concedida a los grupos en un corto espacio de tiempo desde que la solicitud haya tenido lugar. La competitividad, que tanto trabajo cuesta conseguir y mantener, esta ligada a una rápida respuesta a las preguntas y variaciones a las que la investigación de alto nivel está sujeta. Es por ello que las inversiones no sólo tienen que incrementarse para conseguir una convergencia real con las grandes potencias europeas, Estados Unidos y Japón, sino que debe ser gestionada de una manera eficaz dejando al investigador margen de maniobra suficiente para realizar su labor de una manera adecuada. Los procesos que requieren grandes infraestructuras se realizan a través de los servicios técnicos o mediante colaboraciones, en muchos casos ya establecidas, con grupos especializados. No obstante, es necesaria la existencia de esas grandes instalaciones en el ámbito nacional, así como cuidar las *grandes* infraestructuras que estén sometidas a un uso considerable. Dichas infraestructuras deberían situarse en la mayoría de los casos en los *Servicios Científico-Técnicos* de las Universidades y los Institutos, dotando ineludiblemente a estos de los recursos científico-técnicos humanos necesarios para que den servicio a toda la comunidad científica de su entorno.

## 7. Grupos más relevantes.

Algunos de los grupos españoles más relevantes que trabajan en este campo de investigación son:



- 
- Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO): 15 grupos  
<http://www.icfo.es/index.php?section=people0&lang=english>
  - Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (CSIC): Cristales Fotónicos, Raman, Plasmónica, Metamateriales, Síntesis de nanopartículas.
  - Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC): Cristales Fotónicos, Nanoestructuras semiconductoras.
  - Instituto de Estructura de la Materia (CSIC): Plasmónica, Raman.
  - Instituto de Microelectrónica de Barcelona (CSIC): Nanoestructuras semiconductoras, Sensores Ópticos.
  - Instituto de Microelectrónica de Madrid (CSIC): Nanoestructuras magneto-ópticas, magneto-plasmónicas y semiconductoras, Biosensores ópticos (semiconductores y plasmónicos).
  - Instituto de Óptica (CSIC): Procesado Láser e Irradiación iónica, Plasmónica.
  - Universidad Autónoma de Madrid: Plasmónica, Fuerzas ópticas, nanoestructuras semiconductoras.
  - Universidad Complutense de Madrid: Nano-antenas, OLEDs.
  - Universitat Jaume I: Dispositivos Fotovoltaicos.
  - Universidad de Navarra: Dispositivos ópticos.
  - Universidad del País Vasco- DIPC: Espectroscopía Molecular, Plasmónica.
  - Universidad Politécnica de Madrid: Sistemas Optoelectrónicos Y Microtecnología (ISOM), Células Solares.
  - Universidad Politécnica de Valencia: Tecnologías Nanofotónicas, Cristales Fotónicos.
  - Universidad Rovira i Virgil: Cristales Fotónicos.
  - Universidad de Vigo: Síntesis de Nanopartículas.
  - Universidad de Zaragoza: Plasmónica.

Esta lista es necesariamente incompleta, algunos otros grupos pueden encontrarse en:

<http://www.nanospain.org/members.php> y <http://www.fotonica21.org/miembros.php>

## **8. Iniciativas relevantes (Plataformas Tecnológicas, etc.)**

Las iniciativas más relevantes en este área están sobre todo dirigidas a la identificación y unión de los grupos cuya actividad científica está en el marco de la

nanofotónica. Aquí podemos destacar la plataforma Fotonica21 (que es la versión española de Photonics21 y la Red NanoSpain.

En otro sentido, la mayoría de los centros de nanotecnología de reciente creación cuentan con departamentos y líneas específicas en nanofotónica.

## 9. Conclusiones

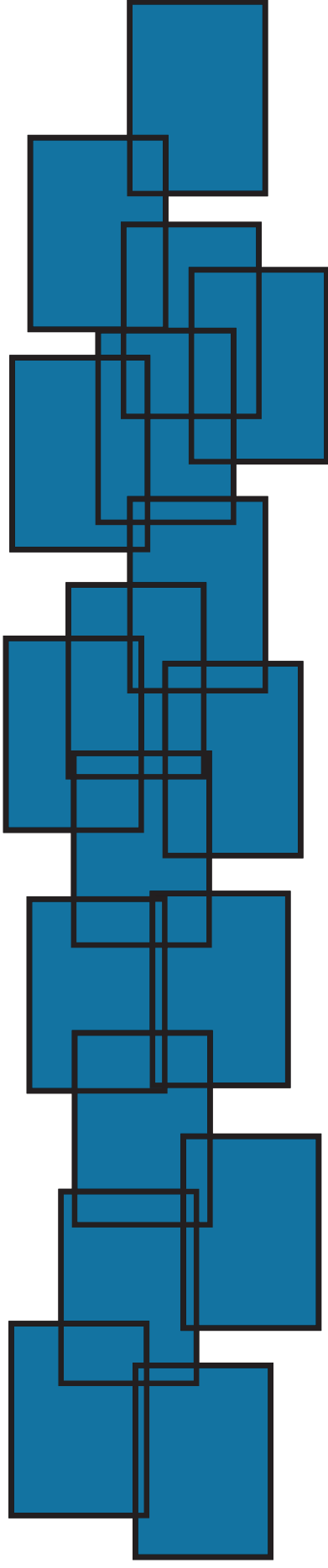
Como conclusión general debemos destacar la buena salud de la que goza la nanofotónica en España, sin que esto signifique olvidar la necesidad de priorizar en España programas específicos dirigidos a fortalecer la presencia española en los temas anteriormente mencionados, en particular los sistemas nanofotónicos activos y/o controlables externamente. Para alcanzar la solvencia y versatilidad de los grupos líderes en Europa, América o Asia, es necesario hacer un esfuerzo global para que los laboratorios y grupos españoles más competitivos gocen de facilidades para obtener la infraestructura, y el personal necesario, a través de una gestión eficiente de los recursos económicos de los que dispongan. De esta forma se asegura la consistencia y continuidad de la excelencia actual, y se ponen las bases para incrementar de forma competitiva su productividad. Por otra parte, esto no debe ser exclusivo y los grupos que están emergiendo deben encontrar apoyo para desarrollarse y alcanzar altos niveles de producción científica.







# NANOTUBOS DE CARBONO





## Pere Castell

**Lugar y fecha de nacimiento:** Reus, España, 1974

**Formación:** Licenciado en Químicas por la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona en 1996. Doctorado cinco años más tarde en esta misma universidad

**Carrera Profesional:** Realizó una estancia postdoctoral en Eindhoven (Países Bajos) donde desarrollo pinturas en polvo para poliolefinas. Posteriormente se incorporó al Instituto de Carboquímica (CSIC) en Zaragoza donde compaginó el estudio de materiales mediante difracción de rayos X con el desarrollo de nanocomposites de polipropileno con nanotubos de carbono.

Desde 2007 es el responsable del departamento de I+D de Nanozar, S.L. y está especializado en la preparación y caracterización de dispersiones de nanotubos de carbono y en nanocomposites poliméricos basados en nanotubos de carbono.



## 1. Estado del arte

Los nanotubos de carbono (NTC) son objetos nanométricos fundamentales descubiertos en 1991 por Sumio Iijima. Debido a su estructura cilíndrica singular (diámetros de unos nanómetros, longitudes de unos micrómetros y diferentes tipos de quiralidad) y a su composición (únicamente formados por átomos de carbono), los nanotubos de carbono poseen una serie de únicas y fascinantes propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, electrónicas, magnéticas y ópticas. A continuación se detallan algunas de las propiedades características de los nanotubos:

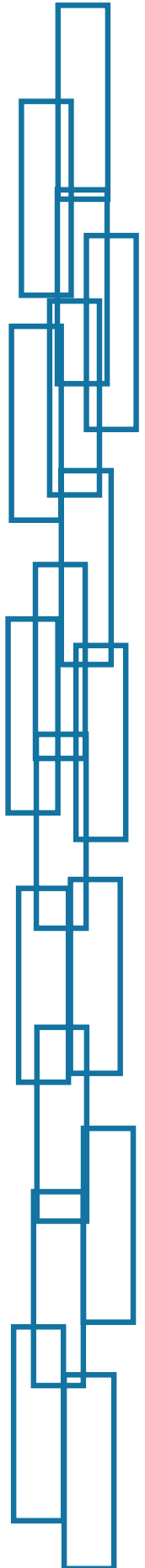
- Material muy ligero.
- Material con elevada área superficial.
- Material muy fuerte: Con un módulo de Young hasta 1 TPa, 100 veces más fuerte que acero.
- Material muy flexible (se dobla a grandes ángulos sin romperse) y con gran capacidad de almacenamiento de energía mecánica.
- Conductividad térmica hasta 3000 W/mK (mayor que la del diamante).
- Elevada estabilidad térmica.
- Conductividad eléctrica: en función de su estructura pueden ser metálicos o semiconductores (incluido aislante). Los nanotubos metálicos pueden llevar alta densidad de cargas eléctrica con elevada movilidad.
- Muy buena emisión de electrones bajo un campo eléctrico.
- Propiedades cuánticas (electrónicas, vibracionales, magnéticas etc.).

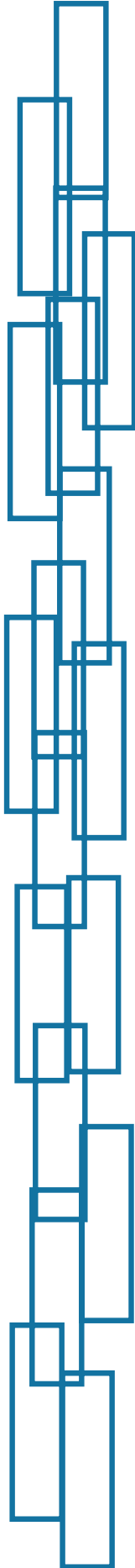
Comercialmente se pueden obtener diferentes tipos de nanotubos en grado de investigación (escala de unos gramos) o en grado industrial (escala 100 kg) por diferentes compañías en Europa, Estados Unidos y Asia.

A nivel industrial en 2006 dos grandes compañías químicas como Bayer (Alemania) y Arkema (Francia) han inaugurado sus plantas de producción de nanotubos. Estas dos ya producen MWNTs a escala de unos 100 kg con precios del orden de 150 – 500 Euro/kg. Está previsto un precio de 50 Euro/kg cuando la producción sea en toneladas. También la compañía Nanocyl (Bélgica) con sus MWNTs ha entrado en este mercado. Todos ellos venden MWNTs procedente de procesos CVD.

Por otro lado, hay varias compañías que venden MWNTs y SWNTs a nivel (y cantidades) de investigación. Los precios típicamente oscilan entre 50 Euros/gramo hasta 200 Euros/gramo para el material crudo, en función del método de producción y del tipo de nanotubo. Compañías como Nanocyl (Bélgica), Thomas Swan (Reino Unido), CNI (EE.UU.), Rosseter (Chipre) sólo son algunas de ellas.

Dadas las excelentes y particulares propiedades de los NTC, los materiales preparados a partir de ellos tienen aplicaciones interesantes que abarcan campos tan distintos como la electrónica plástica, fibras funcionales, textiles inteligentes, materiales compuestos multifuncionales, almacenamiento de energía, etc. La preparación de dispositivos optoelectrónicos y fotovoltaicos basados en NTC es un campo en continuo crecimiento y con un interés muy elevado por muchas empresas del sector. En este campo existen ya dispositivos y prototipos en el mercado como son las pantallas planas comercializadas por Samsung y Toshiba, Oleds preparados por Motorola, puntas de AFM por Nanoscience instruments y fuentes de electrones preparadas por Philips, entre muchos otros ejemplos.





Por lo que respecta a los materiales multifuncionales, la presencia de los NTC les confiere unas propiedades especiales, aumento conductividad, refuerzo mecánico, mayor resistencia a la llama, etc.

## **2. Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2008-2011**

A pesar de haber sido descubiertos en el año 1991 y haber sido estudiados durante mucho tiempo, durante el cual se han desarrollado nuevos materiales basados en NTC, en España no ha sido hasta 10 años más tarde cuando se ha tomado conciencia de la importancia de este campo y hasta entonces no se ha despertado el interés de la comunidad científica. En este sentido, España tendría que estar más preparada ante los cambios que se avecinan y ser capaz de reaccionar más rápidamente y con una mayor flexibilidad ante las novedades que se presentan.

Por lo que respecta a las actuaciones a tomar en el futuro inmediato, una de las acciones prioritarias sería la creación de una nueva área científica dentro del plan nacional de I+D, la Nanotecnología. Esta nueva área que englobaría los NTC, permitiría aunar esfuerzos y aumentar el presupuesto dedicado al desarrollo de estos materiales.

La creación de observatorios tecnológicos, responsables de hacer un seguimiento de las innovaciones dentro del campo de los nanotubos en otros países (p.ej. Japón y Estados Unidos) será de gran utilidad para alcanzar los objetivos fijados en este período de tiempo.

Es necesario, del mismo modo, introducir paulatinamente la nanotecnología y junto a ella los NTC como nanoobjetos fundamentales en los estudios superiores, para de este modo acercarlos gradualmente a la sociedad. La creación de nuevos estudios permitirá la formación de personal cualificado para desarrollar las tareas necesarias en el área de la nanotecnología tanto a nivel empresarial como en los distintos centros tecnológicos.

Finalmente, y no por ello menos importante, es de vital importancia aumentar la interacción entre la industria y los centros tecnológicos, facilitar y fomentar la transferencia de tecnología tiene que ser una de las acciones prioritarias en los años venideros. La creación de spin-offs, que actúan de puente entre los centros tecnológicos y las industrias ayudará a acercar la nanotecnología y los NTC a la industria española. Actualmente ésta ve a la nanotecnología como un mercado con un alto riesgo, no asumible por ella. La producción en España se ha centrado en los últimos años en disminuir los costes y producir a un precio menor, para ser competitivo. Con la entrada en tromba de los mercados asiáticos, la competencia con el precio está perdida de inicio, por lo que la producción tiene que estar dirigida a materiales de alto valor añadido, donde los NTC ofrecen múltiples posibilidades de nuevas aplicaciones. Para ello es necesario disminuir la percepción de riesgo que tienen las empresas e incentivarlas para que lo asuman. En este punto la transferencia de tecnología va a resultar de vital importancia para conseguir los objetivos planteados.

## **3. Publicaciones más destacadas en el período 2004-2007**

Para evaluar las publicaciones más destacadas en este periodo se ha llevado a cabo una búsqueda bibliográfica exhaustiva, en esta se pueden contabilizar más de 1000 publicaciones relacionadas con los NTC en el periodo comprendido entre 2004 y 2007. De estas publicaciones alrededor del 10 % han sido publicadas en las revistas de mayor índice de impacto (Advanced Materials, Nanoletters, Nature y Science) indicando

el elevado grado de interés de la comunidad científica en esta temática. Estas publicaciones abarcan varias temáticas, destacando en número los materiales y las aplicaciones electrónicas de los NTC. Existe de manera general un solapamiento entre varias temáticas, los materiales que contienen NTC poseen propiedades excepcionales por lo que éstas se aprovechan para fabricar electrodos, sensores, etc. Un trabajo recientemente publicado por el CIMTAN hace un estudio exhaustivo de estas publicaciones y de las temáticas que estas abarcan, coincidiendo en que el mayor número de publicaciones están relacionadas con los materiales y la electrónica de los NTC.

#### 4. Proyectos

##### Nacionales

Actualmente existe a nivel nacional una convocatoria específica del Ministerio de Educación y Ciencia enfocada a la nanotecnología, conocida como Proyectos de I+D (Acción estratégica de Nanociencia y Nanotecnología). En la convocatoria de 2004 se presentaron más de 500 proyectos relacionados con la nanotecnología, de estos se aprobaron 93 con un presupuesto cercano a los 12 millones de euros.

Entre los 93 proyectos aprobados, se encuentran 7 proyectos directamente relacionados con los nanotubos de carbono. A continuación se recogen los detalles de cada uno de ellos.

Título	Referencia	Centro	Financiación /€
Transporte Electrónico en Nanoestructuras: Nanocontactos, Nanotubos y Moléculas Orgánicas	NAN2004-09183-C10-07	Universidad Autónoma de Madrid	125350
Transporte Electrónico en Nanoestructuras: Nanocontactos, Nanotubos y Moléculas Orgánicas	NAN2004-09183-C10-08	Universidad de Alicante	108100
Tecnología Para Sistemas Sensores y Electrodo Basados en Nanotubos de Carbono	NAN2004-09306-C05-01	Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM)	251850
Caracterización de las Propiedades Físicas de Nanotubos de Carbono	NAN2004-09306-C05-02	Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMB)	69000
Sistemas Sensores y Electrodo Basados en Nanotubos de Carbono: Aplicaciones en Biotecnología Clínica y Análisis de Alimentos	NAN2004-09306-C05-03	Universitat Autònoma de Barcelona	74750
Aplicaciones Neurotecnológicas de Sistemas Basados en Nanotubos de Carbono	NAN2004-09306-C05-04	Universidad Miguel Hernández	98900
Preparación De Nanofibras y Nanotubos de Carbono y Cerámicos Vía Electrospinning y Tratamiento Térmico	NAN2004-09312-C03-03	Universidad de Málaga	71300

Durante este mismo periodo de tiempo se han aprobado 25 proyectos I+D basados en nanotubos de carbono dentro de otras convocatorias del MEC en el periodo 2004-2007 (la búsqueda se ha acotado a aquellos proyectos que contengan el termino nanotubo en el título, pudiendo haber proyectos relacionados con la temática que pueden haber sido omitidos involuntariamente en esta búsqueda). Los detalles de dichos proyectos se encuentran en la siguiente tabla:

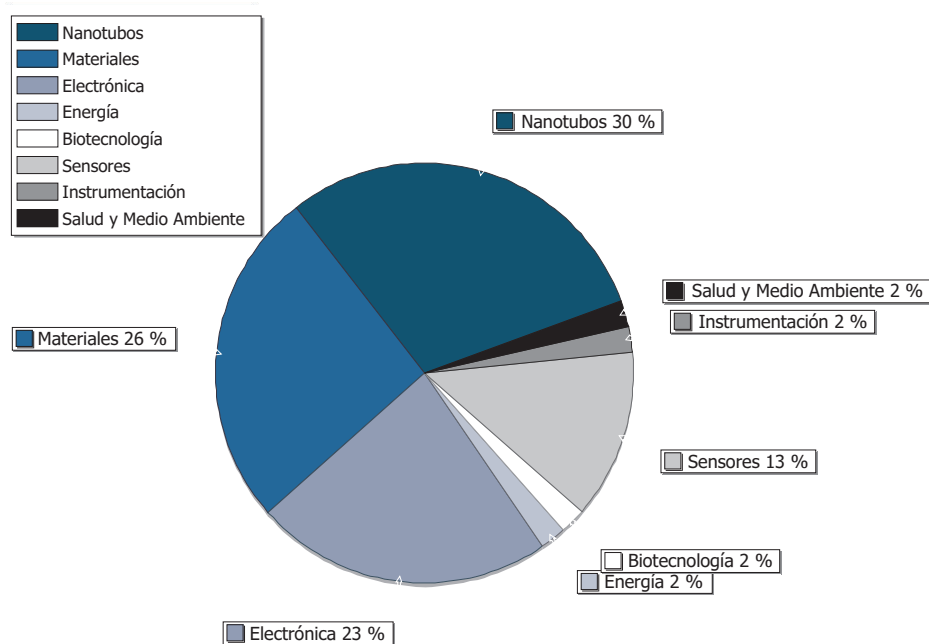
Título	Referencia	Centro	Financiación/ €
Diseño y Síntesis de Nuevas Estructuras Moleculares y Supramoleculares Basadas en Fullerenos y Nanotubos de Carbono	CTQ2004-00364	Universidad de Castilla la Mancha	117650
Aprovechamiento de las Propiedades de los Nanotubos de Carbono En La Fabricación de Nuevos Sensores Electroquímicos	CTQ2004-06334-C02-01	UNED	59800
Desarrollo de un Nuevo Sistema de Detección Amperométrica En Base a Nanotubos de Carbono Para Equipos de Electroforesis Capilar. Seguimiento y Cuantificación De Plaguicidas y Micotoxinas	CTQ2004-06334-C02-02	Universidad Autónoma de Madrid	71300
Síntesis de Oligo-P-Fenilenos, Oligoetilenglicoles y Tripodes Moleculares para la Preparación de Monocapas, Funcionalización de Nanotubos y Modificación de Tips de Microscopio AFM	CTQ2004-07368	Universidad de Málaga	6900
Desarrollo de Catalizadores Metálicos Soportados en Nanotubos de Carbono para la Oxidación Humeda de Aguas Residuales Industriales	CTQ2004-05141	Universidad Complutense de Madrid	141450
Electrospray/Electrospinning para Aplicaciones Micro y Nanotecnológicas: Nanocapsulas, Nanofibras Compuestas y Nanotubos	DPI2004-05246-C04-03	Universidad de Málaga	113000
Aplicación de Los Nanotubos en la I+D de Nuevos Sensores de Gases	TEC2004-05098-C02-01	Instituto de Física Aplicada. CEDEF	102900
Aplicación de Los Nanotubos en la I+D de Nuevos Sensores de Gases	TEC2004-05098-C02-02	Instituto de Carboquímica (ICB)	90100
Efectos de la Correlación Electrónica en Nanotubos de Carbono	FIS2005-05478-C02-02	Instituto de Estructura de la Materia (IEM)	29750
Fabricación de Nanotubos de BXCYNZ por CVD e Incorporación de Fullerenos C60	MAT2005-04608	Universidad Autónoma de Madrid	16660

Título	Referencia	Centro	Financiación/ €
Materiales Compuestos de Matriz Termoestables (Epoxi/Poliuretano) y Nanotubos de Carbono. Dependencia de la Conducta Final con las Interacciones a Nanoescala	MAT2005-06530	Universidad del País Vasco	83300
Simulaciones Computacionales de Interacciones en Nanotubos y Fullerenos	MAT2005-06544-C03-02	Universidad de Burgos	79730
Simulación del Autoensamblado de Nanoagregados para Formar Solidos Nanoestructurados y Nanocables en Nanotubos de Carbono	MAT2005-06544-C03-03	Universidad de Cantabria	56644
Estudio Realista de la Adsorción de 4HE y 3HE en Nanotubos y Bundles de Nanotubos de Carbono	FIS2006-02356	Universidad de Pablo Olavide	16640
Preparación de Membranas Nanoestructuradas para el Proceso de Separación Destilación en Membranas: Nanofibras y Nanotubos Poliméricos	FIS2006-05323	Universidad Complutense de Madrid	62920
Origen Microscópico de las Propiedades Físicas de Nuevos Materiales: Nanotubos de Carbono y Materiales Magnéticos No Convencionales	MAT2006-05122	Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM)	88330
Nanocompuestos Microestructurados Basados en Matrices Poliméricas Termoestables y Termoplásticas Conteniendo Nanopartículas Magnéticas/Nanotubos de Carbono Dispersados y Posicionados	MAT2006-06331	Universidad del País Vasco	181500
Nanomateriales Multifuncionales Avanzados Basados en Nanotubos de Carbono y Matrices Termoplásticas: Desarrollo, Estructura y Propiedades en Estado Sólido	MAT2006-13167-C02-01	Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (ICTP)	166980
Nanomateriales Multifuncionales Avanzados Basados en Nanotubos de Carbono y Matrices Polímeros Conductores. Desarrollo, Estructura y Propiedades, y Procesamiento	MAT2006-13167-C02-02	Instituto de Carboquímica (ICB)	113740



Título	Referencia	Centro	Financiación/ €
Dispersiones de Nanotubos de Carbono y Desarrollo de Arquitecturas Ordenadas	MAT2007-66927-C02-01	Instituto de Carboquímica (ICB)	-
Desarrollo de Muestras de Materiales Compuestos TPE-Nanotubo con Capacidades de Auto-Monitorización	MAT2007-66927-C02-02	Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)	-
Modelización y Diseño Molecular de Uniones de Tres Nanotubos Gráfiticos para su Aplicación como Transistores	CTQ2007-65112	Universidad de Granada	-
Nuevos Transistores de Efecto Campo y Electrodo Selectivos Basados en Nanotubos de Carbono para Bioanálisis: Determinación de Iones, Biomoléculas y Bacterias.	CTQ2007-67570	Universitat Rovira i Virgili	-
Diseño y Síntesis de Estructuras Moleculares y Supramoleculares Derivadas de Fullerenos y Nanotubos de Carbono para Aplicaciones Optoelectrónicas Basadas en Transferencia Electrónica Fotoinducida	CTQ2007-63363	Universidad de Castilla la Mancha	-
Nanotubos de Carbono en Células Solares Fotovoltaicas Flexibles	ENE2007-65874	Universitat Politècnica de Catalunya	-

La clasificación de los proyectos españoles, según su temática, puede observarse en el siguiente gráfico.



Se puede observar que el mayor número de proyectos se encuentra dentro del área de nanotubos, seguidos por el área de materiales y la electrónica muy de cerca. Los proyectos recogidos en el apartado de nanotubos se centran en las propiedades y

el comportamiento de los nanotubos en sí y no tanto en sus aplicaciones directas. El área de materiales resulta la más interesante y la que presenta unas mejores perspectivas a corto plazo, en ella no se busca una aplicación concreta sino la búsqueda de materiales con propiedades mejoradas. Este área se solapa con otras aplicaciones de ahí su elevado porcentaje.

En cuanto a aplicaciones en concreto destaca por encima de todas las aplicaciones electrónicas, seguidas del resto. Un tema de especial interés y que crecerá a corto plazo en el área de salud y medio ambiente, los proyectos que estudian la toxicidad de los nanotubos de carbono van a aumentar de manera notable ya que actualmente es uno de los temas de especial interés tanto para los científicos como para la industria.

### Europeos

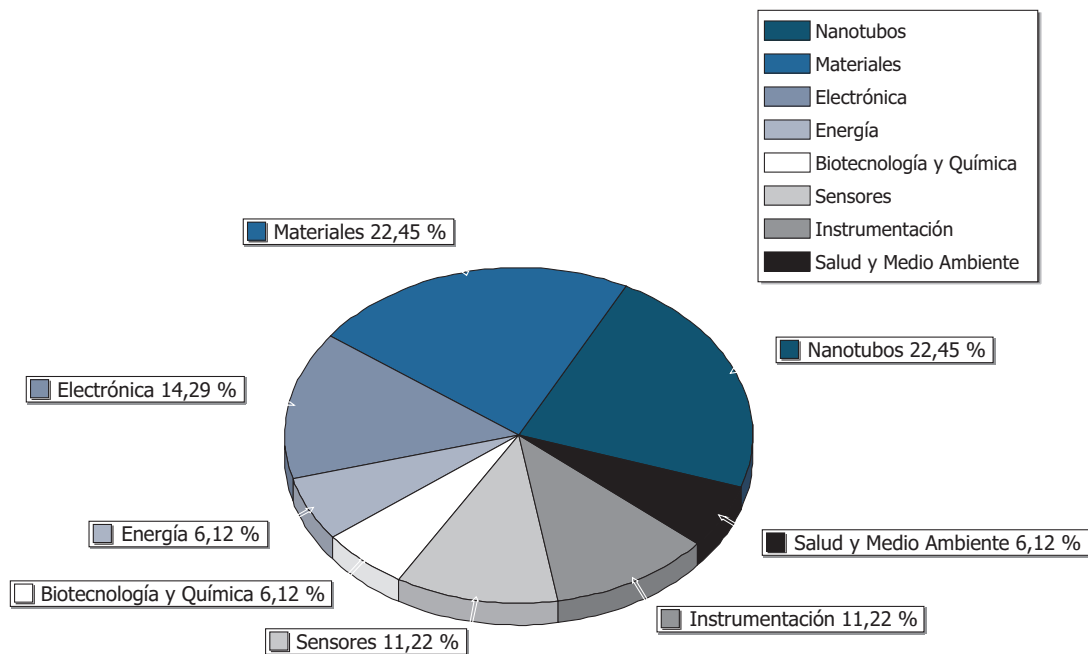
Los proyectos europeos más destacables en los que ha habido participación directa española se recogen en la siguiente tabla. Es de destacar que España ocupa el cuarto lugar en número de proyectos relacionados con los NTC, por detrás de Alemania, Francia y el Reino Unido (según datos obtenidos de CORDIS, la búsqueda, como anteriormente, se ha limitado a proyectos que contengan el termino NTC en el título). En todos los proyectos detallados han intervenido varios grupos de distintos países de la Unión Europea, se puede encontrar información más detallada de cada uno de ellos en CORDIS.

Título	Acrónimo	Centro español	Financiación/ €
Carbon Nanotube Devices at the Quantum Limit	CARDEQ	Institut Català de Nanotecnologia	2280000
Multifunctional polymeric materials through nanostructuring	MULTIFUNCTNAN OPOLYM	Instituto de Estructura de la Materia. CSIC	40000
Thermal and Electronic Properties of Nanotubes	TEPON	Departamento de Propiedades Ópticas, Magnéticas y de Transporte. CSIC	65800
Multi-scale modelling and simulation for nanoscale mechanics and materials: from atoms to devices	MMSNMM	Universitat Politècnica de Catalunya	80000
Interface design of metal nanocluster-carbon nanotube hybrids via control of structural and chemical defects in a plasma discharge	NANO2HYBRYDS	Universitat Rovira i Virgili	2102340
A Novel Gasket and Seal System used for EMI Shielding Using Double Percolation of Carbon Nanotube Technology to Improve Safety, Profitability and Productivity for SMEs	EMISHIELD	Teinsa	444313
Integrated Self- Adjusting Nano- Electronics Sensors	SANES	Universidad del País Vasco	1415000
Coupled mechanical and electronic properties of carbon nanotubes based systems	-	Universidad del País Vasco	1316000
Parallel nano assembling directed by short-range field forces	PARNASS	Universitat Rovira i Virgili	2823510

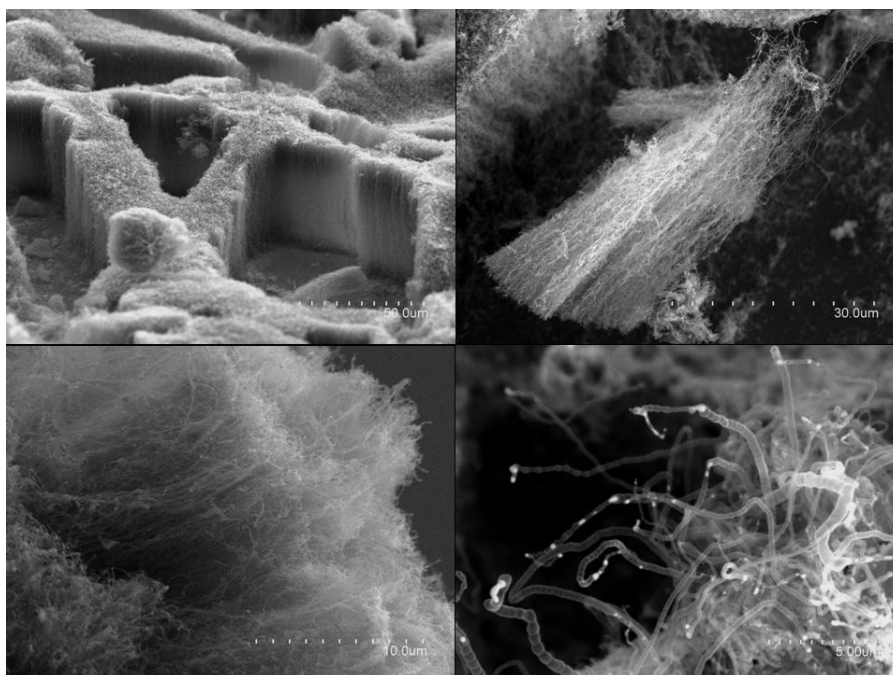


Título	Acónimo	Centro español	Financiación/ €
Carbon nanotubes for future industrial composites: theoretical potential versus immediate application	GROWTH	Instituto de Estructura de la Materia. CSIC	890794
Large scale synthesis of carbon nanotubes and their composite materials	NANOCOMP	Instituto de Carboquímica. CSIC	1685000
Development And Demonstration Of A Carbon Nanotube Actuator For Use In Medical Technology	NANOMED	AJL	2855210
Aerospace nanotube hybrid composite structures with sensing and actuating capabilities	NOESIS	Boreas Ingeniería y Sistemas, S.A.	4947030
Collective electronic states in nanostructures	COLLECT	Universidad Autónoma de Madrid	1166000
Improving the understanding of the impact of nanoparticles on human health and the environment	IMPART	CMP Científica S.L.	741826
Hydrogen in mobile and stationary devices - safe and effective storage solution	HYMOSES	Instituto de Carboquímica. CSIC	300000

La clasificación de los proyectos europeos con participación española según su temática puede observarse en el siguiente gráfico.



Se vuelven a repetir unos porcentajes parecidos en cuanto a la clasificación de los proyectos por áreas. De nuevo los nanotubos y el área de materiales son las que más proyectos tienen. El resto de áreas tienen unos porcentajes similares a los observados a nivel (local) español. Es de destacar el mayor porcentaje a nivel europeo de proyectos relacionados con la salud y el medio ambiente, es de esperar que a nivel español este porcentaje vaya creciendo hasta igualarse con el porcentaje europeo.



## 5. Infraestructura necesaria para cumplir objetivos (2008-2011)

Actualmente y con las inversiones realizadas durante los últimos años, la infraestructura a nivel de equipos es bastante buena y junto a las inversiones que es de prever que sigan en aumento, podemos concluir que la infraestructura actual es suficiente para alcanzar todos los objetivos que se planteen en un futuro cercano. El principal problema que sufre España es la falta de personal técnico altamente cualificado, por lo que es necesario que se priorice y aumente sustancialmente la inversión en personal para poder sacar el mayor partido a todos los equipos necesarios para cumplir los objetivos marcados en el ámbito de la nanotecnología y más concretamente en el área de los NTC.


## 6. Centros de investigación más relevantes

### Grupos españoles

En este apartado destacaremos los grupos españoles que basan su I+D en los nanotubos de carbono y que han estado trabajando en la temática durante más tiempo.

- El grupo de Nanoestructuras y Nanotecnología dirigido por M.T. Martínez en el Instituto de Carboquímica del CSIC en Zaragoza.
- El grupo de Julio Gómez en el departamento de Física de la Materia Condensada de la Universidad Autónoma de Madrid.
- El grupo de Ángel Rubio en el departamento de Física de Materiales de la Universidad del País Vasco en San Sebastián.
- El grupo de Leonor Chico en el departamento de Física Aplicada de la Universidad de Castilla la Mancha en Toledo.
- El Laboratorio de Estructura Electrónica de Materiales dirigido por Pablo Ordejón en el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona.





En la actualidad existen otros muchos grupos de investigación que han introducido los NTC en sus proyectos de I+D, podemos destacar los siguientes centros de investigación y Universidades que tienen o han desarrollado proyectos relacionados con los NTC:

### **Centros de Investigación**

- El Instituto de Biotecnología de Granada.
- El Instituto Catalán de Nanotecnología (ICN) en Barcelona.
- El Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón del CSIC en Zaragoza.
- El Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC.
- El Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona, CSIC.
- El Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros del CSIC, Madrid.
- El Instituto de Estructura de la Materia del CSIC, Madrid.
- El Instituto de Microelectrónica de Madrid, CSIC.
- El Instituto de Microelectrónica de Barcelona, CSIC.
- El Instituto de Nanociencia de Aragón (INA) en Zaragoza.
- El Instituto Tecnológico Textil de Alcoi (Aitex).
- La Fundación INASMET en San Sebastián.
- El Centro Tecnológico GAIKER en Zamudio.
- El Centro de Tecnologías Electroquímicas (CIDETEC) en San Sebastián.
- Donostia International Physic Center (DIPC).

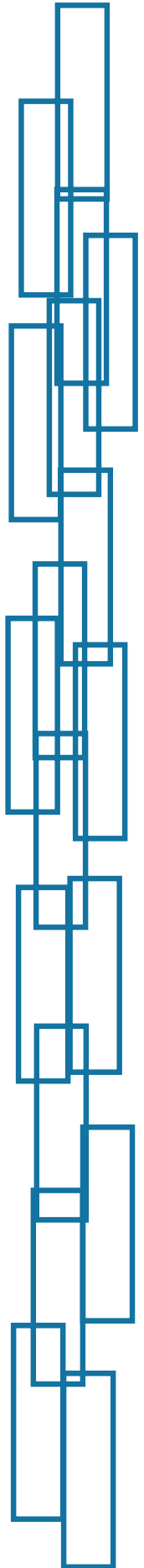
### **Universidades**

- Universidad Autónoma de Madrid.
- Universidad de Alicante.
- Universidad de Barcelona.
- Universidad de Burgos.
- Universidad de Cantabria.
- Universidad de Castilla la Mancha.
- Universidad Complutense de Madrid.
- Universidad de Córdoba.
- Universidad de Girona.
- Universidad de Granada.
- Universidad de Málaga.
- U.N.E.D.
- Universidad Pablo Olavide.
- Universidad del País Vasco.
- Universidad Politécnica de Cartagena.
- Universidad Politécnica de Catalunya.
- Universidad Rovira i Virgili.
- Universidad de Santiago de Compostela.
- Universidad de Valladolid.
- Universidad de Zaragoza.

### **Grupos europeos**

A nivel europeo existen muchos centros de investigación y universidades que están desarrollando proyectos relacionados con los NTC, entre ellos podemos destacar a los siguientes:

- Center of Advanced European Studies and Research (CAESAR), Alemania.
- Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA), Francia.
- Centre de Recherche Paul Pascal, Francia.
- Centre Nationale Recherche Scientifique (CNRS), Francia.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) Italia.
- Technische Universiteit Delft, Países Bajos.
- Technische Universität Dresden, Alemania.
- Dublin City University, Irlanda.
- École Nationale Supérieure des Industries Chimiques, Francia.
- Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Suiza.
- Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENTEA), Italia.
- Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), Suiza.
- Fraunhofer Institute, Alemania.
- Ghent University, Bélgica.
- Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Italia.
- Institute Nationale Polytechnique Toulouse, Francia.
- Krakow University of Technology, Polonia.
- Max Planck Gesellschaft, Alemania.
- National Hellen Research Foundation, Grecia.
- National Institute for Research and Development in Microtechnologies, Rumanía.
- Institutul National pentru Fizica Materialelor, Rumanía.
- National Physical Laboratory, Reino Unido.
- National Technical University of Athens, Grecia.
- ONERA, Francia.
- Otto von Guericke Universität, Alemania.
- Paul Scherrer Institut, Suiza.
- Politecnico di Milano, Italia.
- Research Institute for Technical Physics and Materials Science, Hungría.
- Royal Institute of Technology, Suecia.
- Sincrotrone Trieste SPCa, Italia.
- Stockholms Universitet, Suecia.
- Danmarks Tekniske Universitet, Dinamarca.
- Trinity College Dublin, Irlanda.
- Università Basilicata, Italia.
- Università Cattolica, Italia.
- Università di Trieste, Italia.
- Université Claude Bernard, Francia.
- Université de Montpellier, Francia.
- Universität Basel, Suiza.
- Università di Bologna, Italia.
- Universität Bremen, Alemania.
- Universitatea din Bucuresti, Rumania.
- University of Crete, Grecia.
- University of Edinburgh, Reino Unido.
- Universität Freiburg, Suiza.
- Université de Liège, Bélgica.
- University of London, Reino Unido.
- Imperial College of Science, Reino Unido.
- Université Lyon, Francia.
- Università di Messina, Italia.
- Università degli Studi di Napoli, Italia.
- Universitetet i Oslo, Noruega.
- University of Cambridge, Reino Unido.
- University of Oxford, Reino Unido.



- 
- University of Surrey, Reino Unido.
  - University of Sussex, Reino Unido.
  - Università Padua, Italia
  - Université Paris, Francia.
  - Università di Rome, Italia.
  - Universität Siegen, Alemania.
  - University of Southampton, Reino Unido.
  - Université Strasbourg, Francia.
  - Université Toulouse, Francia.
  - Universität Wien, Austria.
  - University of Warwick, Reino Unido.
  - University of Cork, Reino Unido.

## 7. Iniciativas relevantes (Plataformas Tecnológicas, etc.)

En España actualmente no existen iniciativas relevantes exclusivamente dedicadas a los NTC, solo podemos encontrar el ejemplo de Nanozar SL (spin-off del Instituto de Carboquímica, CSIC) y el convenio que tiene el CSIC con la red GDR-I Nano-I (Grupo de Investigación Internacional NANO que estudia la ciencia y la tecnología de los NTC) liderado por el CNRS.

El resto de iniciativas que trabajan con estos materiales están englobadas en el ámbito de la nanotecnología.

Podemos destacar la Red NanoSpain, que está integrada por 234 grupos de investigación y empresas, reuniendo a más de 1500 investigadores. En nuestra opinión pocas iniciativas y redes cuentan con un número tan elevado de grupos participantes, lo que demuestra dos cosas: la masa crítica que existe en este campo y la iniciativa con que los científicos-tecnólogos abordan la problemática que tienen planteada en cuanto a la necesidad de coordinarse e intercambiar información.

La fundación Phantoms es una asociación que basa sus actividades en la nanotecnología y en la nanoelectrónica con el objetivo principal de fomentar la colaboración entre distintos grupos a nivel europeo. Al mismo tiempo desempeña un importante papel divulgativo tanto de los proyectos nacionales como de los europeos, para fomentar la interacción entre grupos y la creación de nuevas redes.

Existen de igual modo plataformas tecnológicas enfocadas a la nanotecnología en muchas comunidades autónomas, así podemos destacar el Instituto de Nanotecnología de Aragón (INA), el Institut Català de Nanotecnologia (ICN), entre muchos otros. Todos ellos desarrollan algún proyecto relacionado con los NTC.

Por lo que respecta a las empresas, como hemos comentado, tan solo podemos encontrar un ejemplo en nuestro país de una spin-off dedicada exclusivamente a los NTC, Nanozar SL., es una empresa fundada en el año 2004 dedicada a la transferencia de tecnología relacionada con los NTC.

## 8. Conclusiones

Con la realización de este informe se puede concluir que actualmente España posee el potencial necesario para el desarrollo con muchas garantías de éxito de los NTC y los materiales avanzados basados en ellos. España juega un papel muy relevante dentro de la UE en este ámbito y actualmente existen muchos grupos de I+D que son punteros en sus distintas áreas. Además la infraestructura actual (como

hemos visto con anterioridad), es buena, cosa que nos permite ser muy optimistas acerca del futuro de la nanotecnología y mas concretamente de los NTC.

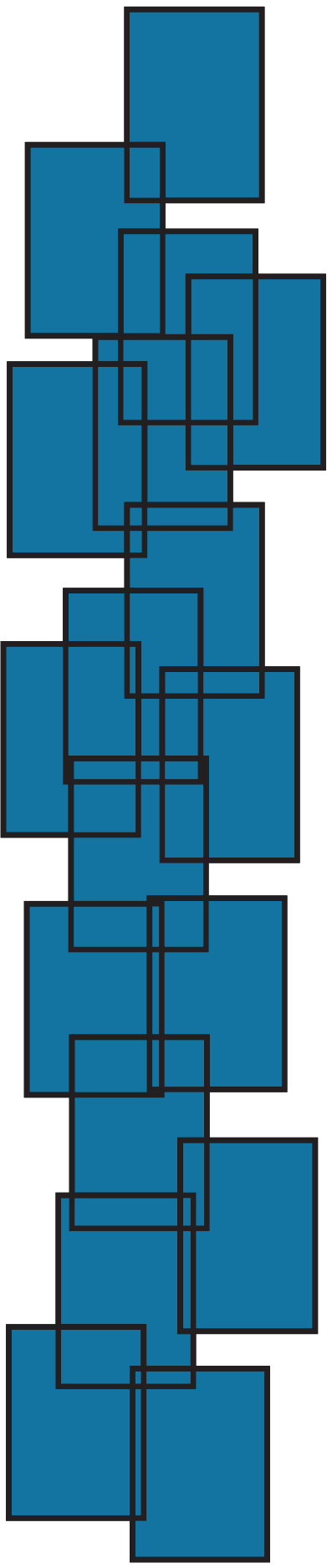
Sin embargo hay que llevar a cabo una serie de acciones para que estos objetivos culminen de manera positiva. Es básico aumentar la interacción entre los distintos grupos existentes así como fomentar la transferencia de tecnología, en este aspecto el apoyo a la creación de spin-offs está siendo ejemplar, aunque hay que seguir apostando fuerte en este sentido. Finalmente aprovechar los conocimientos existentes permitirá plantear siempre nuevos retos que nos llevarán a alcanzar progresos dentro del campo de los NTC.

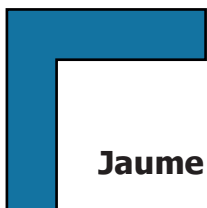






# NANOQUÍMICA





## Jaume Veciana



**Lugar y fecha de nacimiento:** San Salvador (República de El Salvador), 1950

**Formación:** Licenciado en Químicas en la Universidad de Barcelona en 1973. Doctorado cuatro años más tarde en esta misma universidad.

**Carrera Profesional:** Formó en el año 1985 el equipo de trabajo multidisciplinar que dirige en la actualidad y que se ha constituido recientemente en el Departamento de Nanociencia Molecular y Materiales Orgánicos en el instituto del CSIC.

Desde 1996 es profesor de investigación del CSIC y está especializado en magnetismo molecular, conductores metálicos y radicales libres.

## 1. Introducción

Bajo el término de *Nanoquímica* se engloban todas aquellas actividades de la *Nanociencia* y la *Nanotecnología* que poseen en común la utilización de las aproximaciones y las herramientas tradicionales de la *Química* para crear, desarrollar y estudiar objetos que presenten propiedades útiles debido a sus dimensiones nanoscópicas. Es precisamente en este área en donde se encuadra una de las aproximaciones más importantes de la *Nanotecnología* como es la aproximación ascendente ("bottom-up approach") que tiene como objetivo organizar la materia a escala nanoscópica a partir de átomos o moléculas con el fin de conseguir con ellos nuevas propiedades y aplicaciones. Dado el carácter horizontal de la *Nanoquímica* se prevé que esta disciplina tendrá una influencia muy notable en los siguientes sectores socio-económicos: a) Energía, b) Tecnologías de la Comunicación e Información, c) Salud y Cuidados Personales, d) Calidad de Vida, e) Seguridad y Protección Ciudadana y f) Transporte. El impacto económico y social que tendrá la *Nanoquímica* en nuestra sociedad se estima que será muy importante dado que impulsará a la industria química Europea que hoy en día ya emplea directamente a más 2 millones de personas en el grupo de los 25 Estados Miembros de la UE y que tuvo una cuota mundial de ventas en el mercado químico del 30% en el año 2005.

## 2. Estado del arte (últimos avances, etc.)

Son precisamente las demandas socio-económicas que han surgido en esos seis sectores lo que ha impulsado las actividades de I+D en *Nanoquímica* y que ha derivado en el enorme desarrollo actual. Entre los avances más destacados conseguidos hasta la fecha cabe mencionar la fabricación de polímeros especiales, de nano-reforzantes para materiales compuestos, de pigmentos y colorantes, de nuevos componentes para baterías y celdas de combustible y de nuevos catalizadores y sensores. Por otra parte también son de destacar los resultados obtenidos en el campo de la industria agroalimentaria así como en la industria cosmética y farmacéutica y en las aplicaciones biomédicas. Dentro de estas últimas cabe mencionar el diagnóstico y la terapia génica, la liberación controlada y dirigida de fármacos y la criba de compuestos de interés médico. Asimismo la *Nanoquímica* ha permitido añadir nuevas funcionalidades a productos ya existentes y desarrollar con ellos nuevas aplicaciones totalmente inesperadas hace unos pocos años. Otro de los avances conseguidos ha sido la detección en tiempo real de moléculas de diversa índole; lo que ha tenido una gran repercusión en campos como el de la salud y el medio ambiente.

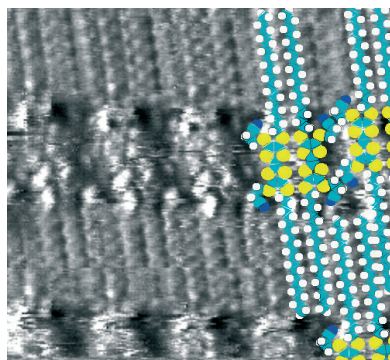


Imagen de STM de una organización supramolecular de moléculas orgánicas electroactivas sobre una superficie de grafito altamente orientado.

También merece ser destacado el desarrollo conseguido en los nanomateriales moleculares electrónicos que inciden en la tecnología de la información y la

comunicación así como en el campo de la seguridad ciudadana. Otro de los grandes logros conseguidos con este tipo de investigación ha sido la reducción de residuos y un mejor aprovechamiento de la energía mediante el desarrollo de nuevos nanomateriales.

En general, puede afirmarse que el interés que despierta la *Nanoquímica* incide principalmente en las grandes perspectivas que proporciona para incrementar la productividad de nuestra industria dándole un valor añadido superior a muchas de sus actividades y conseguir con ello un desarrollo más sostenible de nuestra sociedad. La *Nanoquímica* será en el futuro próximo una de las disciplinas claves para conseguir una mayor competitividad de la industria Europea y por ello es sumamente importante para el crecimiento económico de Europa. Por otra parte, esta nueva disciplina creará nuevas oportunidades de empleo aportando puestos de trabajo altamente cualificados.

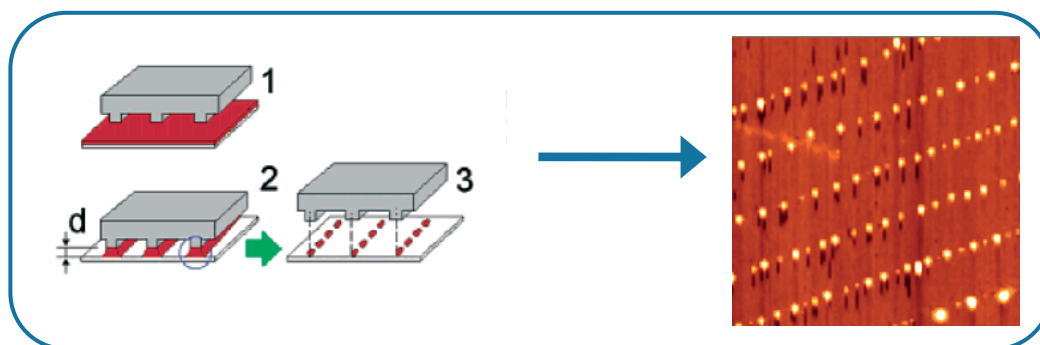


Imagen de AFM de una superficie de Si con un patrón de agregados de imanes unimoleculares derivados de Mn12 obtenida mediante la técnica de "soft-lithography" cuyo proceso se esquematiza.

### 3. Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2008-2011

Dado el proceso de globalización económica mundial existente hoy en día es preciso que las actuaciones a promover y a desarrollar en España en el período 2008-2011 sigan las mismas directrices prioritarias establecidas para Europa y por lo tanto se adapten a las directrices y sugerencias que se reseñan más abajo.

Existe un estudio reciente de prospección, realizado a nivel Europeo por la "European Technology Platform (ETP) for Sustainable Chemistry" (*SusChem*) descrito en la edición final de su "Strategic Research Agenda" (*SRA*), donde se fijan los tópicos prioritarios de investigación de la *Nanoquímica* para los que se prevé una mayor actividad en los próximos cuatro años. Dichos tópicos y temáticas de investigación prioritarias se describen a continuación, agrupados por los sectores socio-económicos de aplicación y ordenados de mayor a menor prioridad.

- **Energía:** Materiales para el almacenamiento y transporte de hidrógeno, baterías y células de combustible, polímeros conductores, materiales superconductores y semiconductores, diodos emisores de luz, células solares y materiales aislantes térmicos.
- **Tecnologías de la Información y la Comunicación:** Materiales luminiscentes para pantallas, OLEDs, electrónica molecular, materiales semiconductores, polímeros conductores, materiales para almacenamiento y transporte de la información y para holografía, baterías, dispositivos

electrónicos eco-eficientes, materiales ópticos, interruptores moleculares rápidos y dispositivos portátiles para el almacenamiento de hidrógeno.

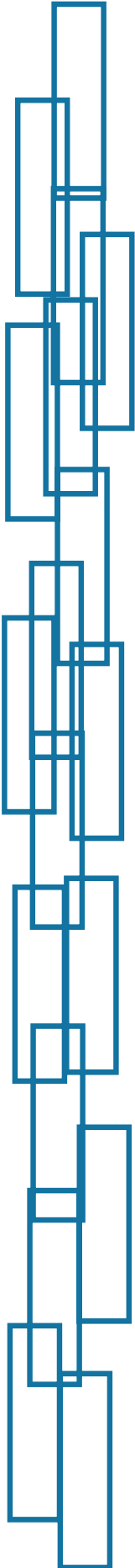
- **Salud y Cuidados Personales:** Terapias tumorales, liberación dirigida de fármacos, ingeniería tisular, sistemas de liberación inteligentes, dispositivos para diagnóstico instantáneos, textiles funcionales, materiales para la reconstrucción ósea y dispositivos de tipo "lab-on-a-chip".
- **Calidad de Vida:** Dispositivos para una iluminación más eficiente, sensores de entorno, materiales para potabilizar agua (membranas, sensores), materiales para aislamiento acústico y térmico, materiales electro-crómicos inteligentes, dispositivos textiles funcionales interactivos, materiales inteligentes para empaquetamiento y sensores de calidad para alimentos.
- **Seguridad y Protección Ciudadana:** Dispositivos para identificación biométrica, tejidos protectores, fibras superhidrofóbicas, fibras textiles conductoras y ópticas, Dispositivos de aviso, ventanas termo-crómicas y alfombras sensibles a la presión.
- **Transporte:** Dispositivos para diagnóstico instantánea y para la asistencia al conductor, sensores de tráfico, dispositivos de seguridad mejorada, materiales para vehículos reciclables y biodegradables, materiales para la mejora de la sonoridad viaria, mejora de materiales para la rodadura.

#### 4. Publicaciones más relevantes en el área (2004-2007)

Las 15 publicaciones que contienen los términos nano\* y chem\* y que han sido publicadas en este período por autores españoles y han recibido más citas por otros autores son, según el ISI Web of Knowledge, las siguientes:

1. Perez-Juste J., Pastoriza-Santos I., Liz-Marzan L.M., et al., "Gold nanorods: Synthesis, characterization and applications", *Coord. Chem. Rev.* 249, 1870-1901 (2005).
2. Nogues J., Sort J., Langlais V., et al. "Exchange bias in nanostructures", *Phys. Rep.-Rev. Sect. Phys. Lett.*, 422, 65-117 (2005). Fernández-García M, Martínez-Arias A, Hanson JC, et al.
3. "Nanostructured oxides in chemistry: Characterization and properties", *Chem. Rev.* 104, 4063-4104 (2004).
4. Maspocho D., Ruiz-Molina D., Veciana J., "Magnetic nanoporous coordination polymers", *J. Mater. Chem.* 14, 2713-2723 (2004).
5. Perez-Juste J., Liz-Marzan L. M., Carnie S., et al. "Electric-field-directed growth of gold nanorods in aqueous surfactant solutions", *Adv. Funct. Mater.* 14, 571-579 (2004).
6. Liz-Marzan L. M., "Tailoring surface plasmons through the morphology and assembly of metal nanoparticles", *Langmuir*, 22, 32-41 (2006).



- 
7. Bisquert J., Cahen D., Hodes G., et al. "Physical chemical principles of photovoltaic conversion with nanoparticulate, mesoporous dye-sensitized solar cells", *J. Phys. Chem. B*, 108, 8106-8118 (2004).
  8. Corma A., Atienzar P., Garcia H., et al. "Hierarchically mesostructured doped CeO<sub>2</sub> with potential for solar-cell use", *Nature Mater.* 3, 394-397 (2004).
  9. Merkoci A., Pumera M., Llopis X., et al. "New materials for electrochemical sensing VI: Carbon nanotubes", *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, 24, 826-838 (2004).
  10. Guldi D. M., Gouloumis A., Vazquez P., et al. "Nanoscale organization of a phthalocyanine-fullerene system: Remarkable stabilization of charges in photoactive 1-D nanotubules", *J. Am. Chem. Soc.*, 127, 5811-5813 (2005).
  11. Corma A., Serna P. "Hemoselective hydrogenation of nitro compounds with supported gold catalysts", *Science*, 313, 332-334 (2006).
  12. Bisquert J., Vikhrenko V. S. "Interpretation of the time constants measured by kinetic techniques in nanostructured semiconductor electrodes and dye-sensitized solar cells", *J. Phys. Chem. B* 108, 2313-2322 (2004).
  13. Ros-Lis J. V., Martínez-Manez R., Rurack K., et al. "Highly selective chromogenic signaling of Hg<sub>2</sub><sup>+</sup> in aqueous media at nanomolar levels employing a squaraine-based reporter", *Inorg. Chem.* 43, 5183-5185 (2004).
  14. Vicent M. J., Duncan R, "Polymer conjugates: nanosized medicines for treating cancer", *Trends in Biotechnology*, 24, 39-47 (2006).
  15. Guldi D. M., Zilbermann I., Gouloumis A., et al. "Metallophthalocyanines: Versatile electron-donating building blocks for fullerene dyads", *J. Phys. Chem. B*, 108, 18485-18494 (2004).

## 5. Proyectos

En los últimos 4 años se han aprobado en España diversos proyectos de I+D+i, enmarcados en la iniciativa **Ingenio 2010**, destinados a fomentar la cooperación público-privada en I+D+i y que pueden agruparse en cuatro grandes programas que difieren en sus enfoques y temáticas. En todos ellos aparecen proyectos de I+D+i que se enmarcan, aunque sea parcialmente, en el campo de la *Nanoquímica*. Los proyectos más relevantes y sus investigadores principales son los siguientes.

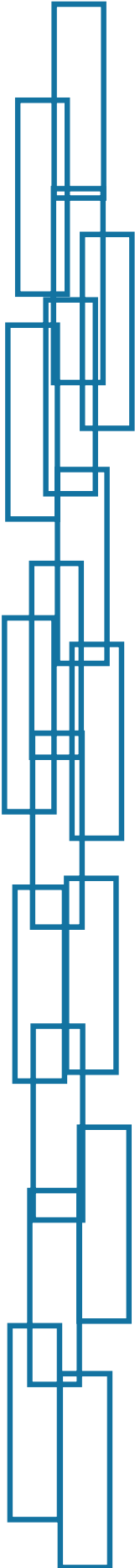
### Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología

- J.C. Rodríguez-Cabello, "Nanoestructuras Autoensambladas de Copolímeros en Bloque Protéicos obtenidos mediante Ingeniería Genética".
- C. J. Serna, "Síntesis y Funcionalización de Nanopartículas Magnéticas".
- J. Ruiz-Cabello, "Aplicaciones en Resonancia Magnética Nuclear de Nanopartículas Magnéticas".

- S. Mañes, "Uso de Nanopartículas Magnéticas Cargadas con Citoquinas y Quimioquinas para la Inmunoterapia del Cancer".
- J. Rodríguez-López, "Diseño y Síntesis de Estructuras Dendríticas para Aplicación en Nanofotónica".
- R. Miranda, "Actividad Química, Catálisis y Quiralidad de Monocapas Autoensambladas: un Modelo de Centros Activos Metaloenzimáticos".
- A. Echavarren, "Diseño de Nuevos Modelos de Metaloenzimas derivados de Porfirinas".
- S. Penades, "Gliconanopartículas Magnéticas Biofuncionales con Aplicación en Biomedicina".
- M. Luna, "Estudio de Interacciones Intermoleculares Mediante Nanopartículas Magnéticas Biofuncionales: Desarrollo de Técnicas Dinámicas de AFM en Líquidos y de Biosensores Opto-Magnéticos".
- X. Obradors, "Nanocomposites Superconductores y Magnéticos por vía Química".
- M. A. Lopez-Quintela, "Síntesis y Autoorganización de Nanopartículas mediante Copolímeros de Bloque Funcionalizados".
- I. Pastoriza, "Preparación y Caracterización Óptica de Redes de Nanopartículas Organizadas".
- J. Veciana, "Nanofar-Preparación de Materiales Nanoestructurados Bioactivos Utilizando Fluidos Comprimidos".
- E. Giralt, "Nanofar-Utilización de Péptidos para la Vectorización Intracelular de Nanopartículas".
- M. Gómez-Rodríguez, "Nanocompuestos y Sistemas Multicomponentes de Matriz Polimérica: Investigación Superficial y Morfológica y Correlación con el Comportamiento en Estado Sólido".
- F. Zamora, "Química de Hilos Moleculares".
- A. Sánchez-Barreiro, "Diseño de Nanopartículas Poliméricas como Vectores Sintéticos en Terapia Génica y Aplicación a la Liberación Intracelular de RNA Interferente".
- R. Riguera, "Diseño y Síntesis de Nuevos Biopolímeros como Vectores en Terapia Génica: Aplicación a la Liberación Intracelular de siRNA".
- E. Rodríguez, "Desarrollo de Materiales Nanoporosos para Catálisis Medioambiental: Reducción Catalítica Selectiva de NO".
- J. M. López Nieto, "Desarrollo de Materiales Nanoporosos para Catálisis Medioambiental: Oxidación Selectiva de Sulfuro de Hidrogeno a Azufre".





- 
- A. Sepúlveda, “Desarrollo de Materiales Nanoporosos para Catálisis Medioambiental”.
  - M. J. Esplandiú, “Sistemas Sensores y Electrodo Basados en Nanotubos de Carbono: Aplicaciones en Biotecnología Clínica y Análisis de Alimentos”.
  - F. X. Rius, “Aplicaciones Medioambientales Basadas en Biosensores de Anticuerpos, Receptores Celulares y Aptámeros”.
  - D. S. Levy, “Preparación via Sol-Gel de Recubrimientos con Actividad Optica basados en Dispersiones de Nanopartículas Fluorescentes o Quantum Dots”.
  - R. Moliner, “Nanofibras de Grafito como Soporte de Electrocatalizadores para su uso en Pilas de Combustible de Electrolito Polimérico de Altas Prestaciones”.
  - P. Cabot, “Caracterización Estructural y Electroquímica de Catalizadores de Pt y de Pt/Ru de Pilas de Combustible de Electrolito Polimérico”.
  - E. Pastor, “Síntesis y Caracterización Electroquímica de Catalizadores Nanoparticulados para Celdas de Combustible de Electrolito Polimérico”.
  - A. Aldaz, “Síntesis, Caracterización y Aplicaciones de Nanopartículas Metálicas como Catalizadores en Pilas de Combustible”.
  - I. Obieta, “Nanocomposites Poliméricos para Sensorización de Gases en Aplicaciones Medioambientales y Producción Energética”.
  - J. Samitier, “Desarrollo de Plataformas Nanobioanalíticas Basadas en Reconocimiento Molecular Mediante Detección Optica y/o Electrónica”.
  - M. P. Marco, “Desarrollo de Plataformas Nanobioanalíticas Basadas en Reconocimiento Molecular Mediante Detección Optica y/o Electrónica”.
  - M. T. Martínez Fernández de Landa, “Desarrollo de Plataformas Nanobioanalíticas Basadas en Reconocimiento Molecular Mediante Detección Optica y/o Electrónica”.

### **Proyectos Cémit**

- “Desarrollo de nuevo conocimiento y tecnología inteligente en materiales orgánicos y cerámicos en el ámbito de una edificación sostenible” (PROMETEO). Acciona Infraestruc., S.A.
- “Desarrollo de plataformas tecnológicas comunes dirigidas a la identificación de candidatos a desarrollo preclínico en varias áreas terapéuticas” (FHARMA). Genius Pharma, A.I.E. GENIUS.
- “Nueva generación de materiales, guarnecidos, revestimientos y sus procesos de transformación para el interior del automóvil” (REVELACION). Grupo Antolin Ing., S.A.

- "Abordaje integral de cuatro tipos de cáncer de alta prevalencia y/o malignidad" (ONCNOSIS). Oncnosis Pharma, A.I.E.
- "Desarrollo de Sistemas de Liberación de Fármacos específicos para vía oral y parenteral con incorporación de nuevas tecnologías basadas en la nanotecnología" (NANOFARMA). Pharmamar, S.A.

### Acciones CIBER

La acción más importante de este tipo es el *Centro de Investigación Nacional en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina* (CIBER-BBN). En dicho centro virtual están agrupados más de 20 grupos de investigación españoles de diversas instituciones que investigan temas relacionados con la *Nanoquímica*.

### Proyectos Consolider

En la primera convocatoria de este programa fueron concedidos 2 grandes proyectos de investigación aplicados que tratan aspectos diversos de la *Nanoquímica* y agrupan a muchos grupos de investigación de diversas instituciones. Sus coordinadores son los siguientes: 1) M. A. Pericás, *Fund. Priva. Inst. Catala d'Investigació Química* y 2) J. M. García-Ruiz, *CSIC*.

### Proyectos Europeos

En el periodo 2004-2007 y dentro de muchas de las prioridades temáticas del Sexto Programa Marco de la UE fueron seleccionados muchos Proyectos de Investigación, tanto de tipo STREP como Proyectos Integrados, Redes de Excelencia y Redes Marie-Curie, en los que participan grupos de investigación españoles. La lista de esos grupos sería muy extensa y por ello no se ha creído conveniente transcribirla aquí en su totalidad pudiéndose obtener en la siguiente dirección electrónica: <http://cordis.europa.eu/improving/home.html>

## 6. Infraestructura necesaria para cumplir objetivos (2008-2011)

La infraestructura que se suele emplear en *Nanoquímica* por lo general es de tipo *medio/pequeño* y no tiene sentido pormenorizar aquí aquellas más necesarias. Sin embargo sí que se desea destacar que este tipo de infraestructura debería ser concedida a los grupos acortando notablemente todo el proceso de compra desde el momento en que aparece su necesidad. Sólo consiguiendo adquisiciones muy rápidas permitirá conseguir aumentar la competitividad internacional de nuestros grupos y con ello incrementar la eficacia de las inversiones en infraestructuras. Las grandes infraestructuras se utilizan acudiendo a los servicios técnicos o mediante colaboraciones con grupos especializados. No debe descuidarse la adquisición y renovación sistemática, después de finalizar su vida media, de aquellas infraestructuras *grandes* que hayan demostrado un rendimiento científico adecuado. Dichas infraestructuras deberían situarse en la mayoría de los casos en los *Servicios Científico-Técnicos* de las Universidades y los Institutos dotando ineludiblemente a estos de los recursos científico-técnicos humanos necesarios para que den servicio a toda la comunidad científica de su entorno.



## 7. Grupos más relevantes

Algunos de los grupos españoles más relevantes que trabajan en este campo de investigación son:

- Corma, V. Fornés y J. M. López Nieto (ITQ, CSIC);
- E. Coronado (ICM, Valencia);
- R. Eritja (IBMB, Barcelona, CSIC);
- J. Rivas, M. López Quintela y R. Riguera Vega (U. Santiago de Compostela);
- F. Palacio (ICMA, CSIC);
- E. Ruiz-Hitzky, C. J. Serna, J. Ruiz-Cabello y D.S. Levy-Cohen (ICMM, CSIC);
- E. Giralt, J. Samitier y P. Cabot (U. Barcelona);
- C. Solans y M.P. Marco (IIQAB, CSIC);
- R. Miranda, T. Torres y M. Luna Estévez (UAM);
- J. Veciana y X. Obradors (ICMAB, CSIC);
- N. Martín (U. Complutense Madrid);
- R. Martínez-Mañez (U. Politec. Valencia);
- J. Nogues y M. J. Esplandiu (UAB);
- L. M. Liz-Marzán (U. Vigo);
- J. Bisquert (U. Jaume I);
- M. A. Pericás y A. Echevarren (ICIQ);
- J. M. García-Ruiz (CSIC Granada);
- M. T. Martínez-Fernández de Landa y R. Moliner Álvarez (ICQ, CSIC);
- Obieta Vilallonga (U Navarra);
- E. Pastor Tejera (U. La Laguna);
- J.C. Rodríguez-Cabello (U. Valladolid);
- M. Gómez-Rodríguez (UPV/EHU);
- S. Mañes Brotón (CNB, CSIC);
- J. Rodríguez-López (U. Salamanca);
- Aldaz y A. Sepúlveda-Escribano (U. Alicante);
- F.X. Rius (U. Rovira i Virgili); S. Penades (BioGune).

Existen otros grupos españoles destacados cuya relación puede encontrarse en la dirección: <http://www.nanospain.org/members.php>

## 8. Iniciativas más relevantes (Plataformas tecnológicas, etc.)

En los últimos años se han creado en Europa, a iniciativa de diversos consorcios industriales e instituciones académicas y gubernamentales, más de 20 *Plataformas Tecnológicas Europeas (ETP's)* sectoriales cuya misión principal es la de aglutinar a los principales actores Europeos de la investigación, la industria y la administración, con el fin de impulsar una estrategia común en su campo de trabajo. De esta manera las *ETP's* se constituyen en los motores de la innovación y la investigación en sus respectivos sectores promoviendo las prospecciones y estudios así como la difusión de actividades y de investigaciones sobre problemas de actualidad. Entre las *ETP's* en las que la *Nanoquímica* juega un papel importante cabe destacar las siguientes, detallándose para cada una de ellas las áreas de trabajo más relevantes:

- *ETP for Sustainable Chemistry*, en el desarrollo de nuevos materiales moleculares y en el diseño de nuevos procesos y reacciones;
- *Hydrogen & Fuel Cells*, en la mejora del almacenamiento y transporte de hidrógeno y las membranas;

- *ENIAC-Nanoelectronics*, en el desarrollo de materiales para la electrónica;
- *ARTEMIS-Embedded Systems*, en el estudio de materiales ligeros y de semiconductores;
- *eMobility-Communication*, también en el desarrollo de materiales semiconductores;
- *Photovoltaic*, en la mejora de la eficiencia de la conversión de los fotones y en la purificación de nuevos materiales fotoactivos;
- *Nanomedicine*, en el desarrollo de técnicas de encapsulación, análisis de nanomedicinas y la mejora del recubrimiento de fármacos;
- *Innovative Medicine*, en el desarrollo de materiales biocompatibles y de sensores y en el análisis toxicológico;
- *ACARE-Aeronautics*, en el desarrollo de nuevos materiales estructurales ligeros para un bajo consumo energético;
- *ESTP-Space Technology*, en el desarrollo de nuevas generaciones de materiales aislantes térmicos y estructurales;
- *WSSTP-Water Supply*, para la mejora del campo de los sensores, recubrimientos fotoactivos, y de membranas para separaciones;
- *ERTRAC-Road Transport*, en el campo de sistemas de almacenamiento de energía;
- *TPSafety-Industrial Safety*, en el desarrollo de materiales resistentes a impactos, de sensores y de sistemas de seguridad personal;
- *FTP-Forest Resources*, en el estudio de materiales híbridos;
- *MANUFUTURE-Manufacturing*, en la mejora de nanomateriales;
- *Food for Life*, en la mejora de las tecnologías de encapsulación y empaquetado;
- *ETP-FTC-TP for the Future of Textiles and Clothing*, en el desarrollo de nuevas fibras funcionales.

Algunas de las Plataformas Tecnológicas Europeas antes mencionadas tienen plataformas espejo en España que desempeñan actividades semejantes pero a nivel nacional. Entre las más activas cabe mencionar a la Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible, PTEQUS, <http://www.pte-quimicasostenible.org>, y la Plataforma Española de Nanomedicina, NanoMed, <http://www.nanomedspain.net>.



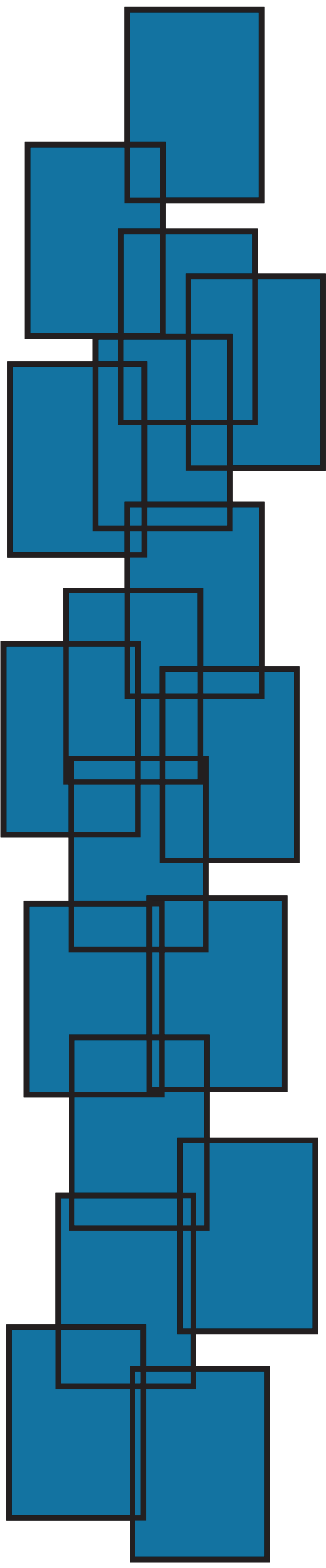
## 9. Conclusiones

Como conclusión general más importante se desea destacar la necesidad de priorizar en España las investigaciones en *Nanoquímica* dirigidas hacia todos los temas anteriormente descritos. Existe ya una buena investigación en España dentro del contexto europeo pero aún estamos lejos del nivel óptimo de excelencia y productividad. Para alcanzar este nivel se debe hacer un especial énfasis en dotar a los laboratorios y grupos españoles más competitivos- juzgando su actividad solamente en términos de excelencia y productividad- de la infraestructura, la financiación económica y el personal necesario para abordar los objetivos que estos se propongan consiguiéndose con ello incrementar de forma competitiva su productividad y excelencia. Por otra parte no debe descuidarse el dar la oportunidad de desarrollarse a grupos incipientes que demuestren su valía.





# TEORÍA, MODELADO Y SIMULACIÓN EN NANOCIENCIA







## Juan José Sáenz

**Lugar y fecha de nacimiento:** Madrid (España), 8 de octubre de 1960

**Formación:** Licenciado en Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) en 1982. Doctor en Ciencias Físicas por la UAM en 1987.

**Carrera Profesional:** Juan José Sáenz es Catedrático del Departamento de Física de la Materia Condensada de la UAM. Desde 1993 dirige el grupo de investigación "Moviendo Luz y Electrones" (MoLE) en la UAM. Actualmente su trabajo de investigación incluye estudios teóricos y modelización de microscopías de proximidad (SPM), transporte cuántico de electrones en nanocontactos, transporte de ondas a través de medios complejos y nanofotónica. Ha publicado alrededor de 100 artículos en revistas internacionales de reconocido prestigio (destacando los 23 trabajos en la revista Physical Review Letters). Es coorganizador de la serie de conferencias internacionales "Trends in Nanotechnology" (TNT).



## 1. Introducción

Las futuras aplicaciones de la Nanotecnología requieren un conocimiento profundo de los aspectos teóricos y computacionales de todo tipo de materiales y dispositivos a escala nanométrica. Numerosas áreas emergentes, tales como la Electrónica Molecular, Nanobiotecnología, Nanofotónica, Nanoflúidica o la Computación Cuántica van a dar lugar, a corto o medio plazo, al desarrollo de nuevos elementos de dispositivos basados en Nanotecnología. La simulación teórica del comportamiento de estos dispositivos esta siendo cada vez más importante ya que nos permitirá i) comprender las propiedades físicas y químicas involucradas, ii) visualizar lo que ocurre dentro del dispositivo y iii) optimizar el funcionamiento y la fabricación de éstos.

La descripción teórica y el modelado de los nuevos nanodispositivos y los diversos fenómenos que ocurren en sistemas nanométricos involucra, en la mayor parte de las ocasiones, conceptos, técnicas de cálculo, programas y códigos informáticos y aproximaciones teóricas que provienen de campos muy diversos (Física de la Materia Condensada, Química computacional, Biofísica, Matemáticas, Óptica, Ingeniería, etc.). Problemas que hasta hace unos pocos años no guardaban mucha relación, acaban por estar relacionados de una manera fundamental en el mundo de la Nanotecnología. El modelado y la simulación de procesos es esencial para la integración entre las escalas atómica y molecular, típicas de la Nanociencia, con el mundo micro, meso y macroscópico. El apoyo a la investigación y desarrollo de este campo es, por tanto, fundamental para el desarrollo de las aplicaciones industriales basadas en la Nanociencia.

## 2. Estado del arte

En los últimos 20 años, las técnicas fundamentales de teoría, modelado y simulación han sufrido una revolución comparable a la de los avances tecnológicos y experimentales que han dado lugar al desarrollo de la Nanociencia. Durante este periodo, hemos visto el avance espectacular de los algoritmos de cálculo de estructura electrónica basados en el funcional de la densidad, dinámica molecular "ab-initio", métodos Monte Carlo clásicos y cuánticos, métodos de "meso-escala" en materia blanda (soft matter) y algoritmos ultrarrápidos de multipolos y mayado múltiple (multipole, multigrad). La combinación de estos métodos teóricos con la creciente potencia de cálculo de los nuevos ordenadores ha hecho posible la simulación de sistemas con millones de grados de libertad.

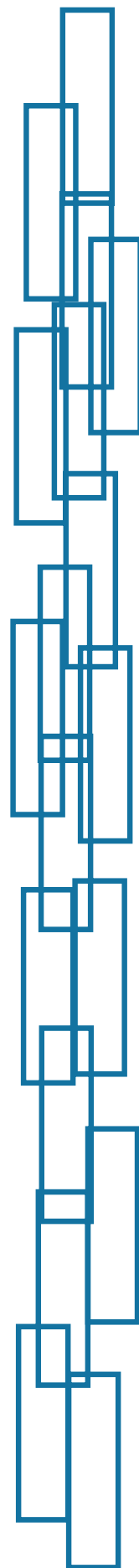
Podríamos distinguir tres grandes áreas de trabajo donde se pueden identificar tanto los avances como retos fundamentales con los que se enfrenta la teoría, modelado y simulación en Nanociencia:<sup>1</sup>

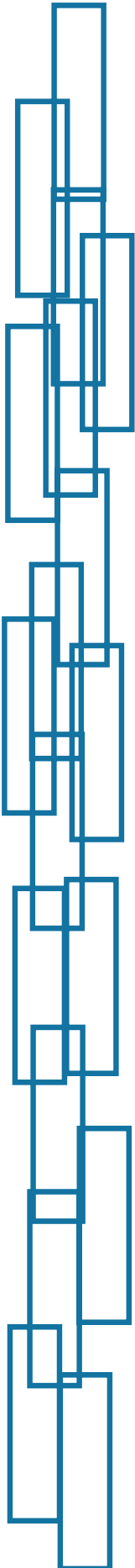
1. Las unidades estructurales más básicas: Nanotubos, Nanohilos, puntos cuánticos, agregados atómicos y moleculares, nanopartículas, etc.

---

<sup>1</sup> Theory and Modelling in Nanoscience, Report of the May 10–11, 2002, Workshop Conducted by the Basic Energy Sciences and Advanced Scientific Computing Advisory Committees to the Office of Science, Department of Energy, USA.

Control and System Integration of Micro and Nano-Scale Systems, Report from the National Science Foundation workshop March 29–30, 2004.





El estudio de estos sistemas básicos, accesible con los métodos actuales, tendrá (tiene) un impacto inmediato tecnológico en distintas áreas:

- Transporte en nanoestructuras: Dispositivos electrónicos
  - Propiedades ópticas a escala nanométrica: Dispositivos optoelectrónicos
  - Coherencia y decoherencia cuántica: Computación cuántica
  - Interfases entre materia “dura” y “blanda”: Biosensores
  - Espintrónica: Tecnologías de la información
2. Nanoestructuras complejas, nano-interfases y nano-intercaras.
  3. Ensamblado y crecimiento de nanoestructuras.

### 3. Teoría, modelado y simulación en Nanociencia en España

Dentro de la investigación en nanociencia en España destacan de manera preeminente los trabajos relacionados con el modelado y la simulación. Una lista de los distintos grupos involucrados se puede encontrar en la página web de la iniciativa española M4nano (<http://www.m4nano.com> con más de 130 grupos de trabajo en este campo). Los trabajos teóricos (a un alto nivel internacional) abarcan distintas áreas y campos entre los cuales destacan los relacionados con:

- Nanotubos y fullerenos
- Nanohilos y nanocontactos
- Nanopartículas y agregados atómicos y moleculares
- Puntos cuánticos
- Propiedades de materiales nanoestructurados y composites
- Autoensamblado
- Coloides
- Transporte eléctrico
- Dispositivos electrónicos
- Propiedades de sistemas complejos y Caos
- Nanofotónica, óptica y electrodinámica a escala nanométrica
- Plasmónica
- Nanocélulas solares
- Termodinámica y estadística de nanosistemas
- Nanomagnetismo
- Biología estructural y biocomputación
- Plegamiento de proteínas
- Biosensores
- Microscopía tunel y de fuerzas atómicas
- Adsorción en superficies
- Propiedades y dinámica de procesos en superficies
- Nanofluidos
- Catálisis
- ...

Entre todos los grupos y proyectos de investigación, destaca la iniciativa española SIESTA (Spanish Initiative for Electronic Simulations with Thousands of Atoms <http://www.uam.es/departamentos/ciencias/fismateriac/siesta>) por su enorme repercusión a nivel internacional. SIESTA es tanto un método como su implementación en un programa de cálculo y permite calcular, no sólo la estructura electrónica, sino

también realizar simulaciones “ab-initio” de dinámica molecular de sólidos y moléculas con miles de átomos. SIESTA ha revolucionado el mundo de la simulación y se ha convertido en un estándar mundial dentro de los cálculos de “primeros principios”.

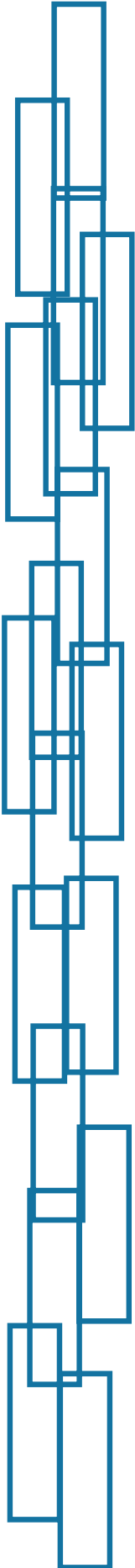
---

Comparación de imágenes experimentales de microscopía de efecto túnel de la superficie Si (111) 7x7 (paneles inferiores) tomadas a diferentes voltajes (paneles superiores), con simulaciones realizadas utilizando SIESTA. [Cortesía de O. Paz, I. Brihuega, J. M. Gómez-Rodríguez y J. M. Soler. Imagen publicada en Physical Review Letters 94, 056103 (2005)].

## Proyectos

Los proyectos de investigación relacionados con el modelado y la simulación en nanociencia están distribuidos en prácticamente todas las convocatorias públicas de investigación y desarrollo. Es difícil encontrar un gran proyecto en el que uno de los tópicos prioritarios no sea el que nos ocupa. En particular, esto ocurre en los proyectos asociados a la iniciativa **Ingenio 2010**. Una búsqueda entre los Proyectos de distintos Planes Nacionales de Investigación del año 2007 así como en la Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología <http://www.creade.org/ciencia/proyectos> nos puede dar una idea de la relevancia de la investigación teórica en el mundo nano:

- **MAT2007-60966**: Simulación de primeros principios de Nanomateriales.
- **MAT2007-65711-C04-04**: Modelización y caracterización de sistemas microporosos.
- **MAT2007-65778-C02-02**: Modelización molecular, estudio espectroscópico y fotofísica de colorantes láser en la región azul y roja en diversos medios.
- **MAT2007-65990-C03-03**: Diseño, estudio y caracterización de materiales y Nanomateriales de interés tecnológico bajo condiciones extremas de presión y temperatura: modelización y caracterización desde primeros principios.
- **MAT2007-66719-C03-02**: Dinámica y electrónica de Espin en nanomateriales: estructuras epitaxiales crecidas por M.B.E. y modelización.
- **CTQ2007-60102**: Tratamiento teórico de la reactividad química. Simulación de reacciones usando potenciales Ab Initio y métodos DM/MM.
- **CTQ2007-60529**: Aproximación multidisciplinar al descubrimiento de antagonistas de los receptores de ADENOSINA: química combinatoria, cribado farmacológico de alta eficacia y modelización molecular.

- 
- [CTQ2007-62122](#): Modelación bioquímica y biofísica y biofísica en hemoproteínas. Estudios de transferencia electrónica y cooperatividad.
  - [CTQ2007-63266](#): Modelización molecular de la ruptura selectiva de péptidos lineales y con estructura triple hélice: catálisis por compuestos organometálicos y metalo-proteinasas.
  - [CTQ2007-65112](#): Modelación y diseño molecular de uniones de tres nanotubos grafiticos para su aplicación como transistores.
  - [CTQ2007-65800](#): Avances en el cálculo del equilibrio entre fases: desarrollo de nuevos modelos y métodos de cálculo más capaces para sistemas complejos.
  - [BIO2007-62954](#): Biología computacional de polipéptidos: simulación de procesos de plegamiento y análisis de interacciones polipéptido-MHC II.
  - [BIO2007-63917](#): Modelizaciones computacionales para el estudio de redes de regulación de genes. Mecanismos estocáticos y retardos temporales.
  - [BIO2007-66670](#): Modelado por homología de interacciones entre proteínas y pequeñas moléculas.
  - [BIO2007-67011-C02-02](#): Modelos computacionales de redes biomoleculares.
  - [SAF2007-67008-C02-02](#): Aplicación de la simulación computacional en la identificación de nuevas dianas terapéuticas y en el diseño de fármacos.
  - [FIS2007-60064](#): Modelización computacional de sistemas no ligados en física atómica y molecular. Ionización y disociación por pulsos láser, partículas cargadas y superficies.
  - [FIS2007-60158](#): Estadística de la luz difundida por nanopartículas metálicas en suspensión. Influencia de resonancias plasmónicas y difusión múltiple. Desarrollo de técnicas para obtener información del difusor.
  - [FIS2007-61566](#): Estudio de procesos de electrodifusión-adsorción de membranas mediante el método de simulación por redes.
  - [FIS2007-62633](#): Caracterización y optimización, mediante simulación MD, de nanoestructuras formadas por clusters metálicos depositados sobre sustratos inertes.
  - [NAN2004-09125-C07-06](#): Nanopartículas magnéticas biocompatibles: de la modelización de sus propiedades a las aplicaciones.
  - [NAN2004-08843-C05-05](#): Teoría de materiales jerarquizados para nanofotónica.

En esta lista únicamente se han incluido aquellos proyectos cuyo título incluye alguna de las palabras clave (teoría, simulación, modelado o "modelización"). Un análisis sistemático de la totalidad de los proyectos está fuera del alcance de este

informe. Es interesante resaltar la utilización de las mismas técnicas de cálculo y simulaciones en áreas muy diversas dentro de la Nanociencia (Materiales, Física, Biotecnología, Química, etc.).

### Publicaciones españolas más relevantes en el área (2004-2007)

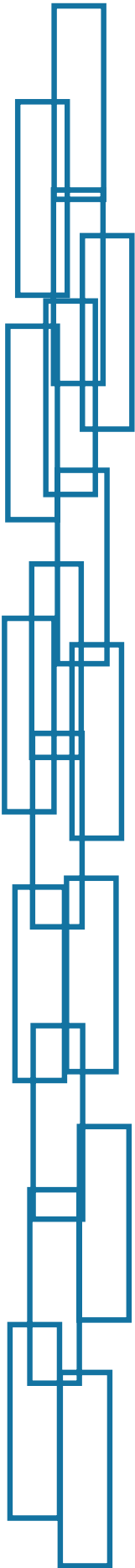
Entre los artículos más citados publicados en este periodo por grupos españoles (según el ISI Web of Knowledge)<sup>2</sup>, se pueden destacar los siguientes trabajos relacionados con teoría, modelado y simulación en Nanociencia:

- Boccaletti S., Latora V., Moreno Y., Chavez M., Hwang D. U. Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports-Review Section of Physics Letters* 424 (4-5): 175-308 FEB 2006.
- Peres N. M. R., Guinea F., Neto A. H. C. Electronic properties of disordered two-dimensional carbon. *Physical Review B* 73 (12): Art. No. 125411 MAR 2006.
- Pendry J. B., Martín-Moreno L., Garcia-Vidal F. J. Mimicking surface plasmons with structured surfaces. *SCIENCE* 305 (5685): 847-848 AUG 6 2004.
- Lopez N., Janssens T. V. W., Clausen B. S., Xu Y., Mavrikakis M., Bligaard T., Norskov J. K. On the origin of the catalytic activity of gold nanoparticles for low-temperature CO oxidation. *Journal of Catalysis* 223 (1): 232-235 APR 1 2004.
- Nogues J., Sort J., Langlais V., Skumryev V., Surinach S., Munoz J. S., Baro M. D. Exchange bias in nanostructures. *Physics Reports-Review Section of Physics Letters* 422 (3): 65-117 DEC 2005.
- Fernández-García M., Martínez-Arias A., Hanson J. C., Rodriguez J.A. Nanostructured oxides in chemistry: Characterization and properties. *Chemical Reviews* 104 (9): 4063-4104 SEP 2004.
- Platero G., Aguado R. Photon-assisted transport in semiconductor nanostructures. *Physics Reports-Review Section of Physics Letters* 395 (1-2): 1-157 MAY 2004.
- Acebron J. A, Bonilla L. L., Vicente C. J. P., Ritort F., Spigler R. The Kuramoto model: A simple paradigm for synchronization phenomena. *Reviews of Modern Physics* 77 (1): 137-185 JAN 2005.
- Malomed B. A., Mihalache D., Wise F., Torner L. Spatiotemporal optical solitons. *Journal of Optics B-Quantum and Semiclassical Optics* 7 (5): R53-R72 MAY 2005.

---

<sup>2</sup> Referencias obtenidas del ISI Web of Knowledge mediante búsqueda "on-line" entre los artículos con más de 40 citas publicados entre "2004-2007" (Publication year) tales que la dirección de alguno de los autores contiene "SPAIN" (Address). La búsqueda se ha completado utilizando como palabras clave (topic): "nano\* and simulation", "nano\* and theory"



- 
- Fu C. C., Willaime F., Ordejon P. Stability and mobility of mono- and di-interstitials in alpha-Fe. *Physical Review Letters* 92 (17): Art. No. 175503 APR 30 2004.
  - Rocha A. R., Garcia-Suarez V. M., Bailey S. W., Lambert C. J., Ferrer J., Sanvito S. Towards molecular spintronics. *Nature Materials* 4 (4): 335-339 APR 2005.
  - Fernandez E. M., Soler J. M., Garzon I. L., Balbas L. C. Trends in the structure and bonding of noble metal clusters. *Physical Review B* 70 (16): Art. No. 165403 OCT 2004.
  - Bustamante C., Liphardt J., Ritort F. The nonequilibrium thermodynamics of small systems. *PHYSICS TODAY* 58 (7): 43-48 JUL 2005.
  - Bisquert J., Cahen D., Hodes G., Ruhle S., Zaban A. Physical chemical principles of photovoltaic conversion with nanoparticulate, mesoporous dye-sensitized solar cells. *Journal of Physical Chemistry B* 108 (24): 8106-8118 JUN 17 2004.
  - Lopez N., Norskov J. K., Janssens T. V. W, Carlsson A., Puig-Molina A., Clausen B. S., Grunwaldt J. D. The adsorption and shape of nanosized Au particles in a Au/TiO<sub>2</sub> catalyst. *Journal of Catalysis* 225 (1): 86-94 JUL 1 2004.
  - Dubbeldam D., Calero S., Vlugt T. J. H., Krishna R., Maesen T. L. M., Smit B. United atom force field for alkanes in nanoporous materials. *Journal of Physical Chemistry B* 108 (33): 12301-12313 AUG 19 2004.
  - Gomez-Navarro C., De Pablo P. J., Gomez-Herrero J., Biel B., Garcia-Vidal F. J., Rubio A., Flores F. Tuning the conductance of single-walled carbon nanotubes by ion irradiation in the Anderson localization regime. *Nature Materials* 4 (7): 534-539 JUL 2005.
  - Bratkovsky A. M, Levanyuk A. P. Smearing of phase transition due to a surface effect or a bulk inhomogeneity in ferroelectric nanostructures. *Physical Review Letters* 94 (10): Art. No. 107601 MAR 18 2005.

#### 4. Iniciativas relevantes

##### **Plataformas Tecnológicas Europeas**

La relevancia de la investigación teórica, modelado y simulación dentro de la estrategia europea se manifiesta en las prioridades de las distintas Plataformas Tecnológicas Europeas

[http://cordis.europa.eu/technology-platforms/individual\\_en.html](http://cordis.europa.eu/technology-platforms/individual_en.html)

Un aspecto particularmente importante de esta investigación es que concierne a prácticamente todas las áreas donde los nanomateriales y nanoprosos juegan un papel clave: Aeronáutica, Espacio, Energía, Transporte, Electrónica y Biomedicina. El desarrollo de nuevo "software" de simulación y modelado juega también un rol

importante en la evolución de las áreas de Computación, Información y Comunicación (IST).

Dentro de las agendas estratégicas de investigación (Strategic Research Agenda) de plataformas europeas, EuMaT (European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies) y ENIAC (European Nanoelectronics Initiative Advisory Council) destacan por el énfasis en los aspectos de simulación y modelado. Dentro de los cinco tópicos prioritarios seleccionados por EuMaT, figuran el modelado de materiales (Materials modeling) y el desarrollo de modelado "multi-escala" (multi-scale modeling). EuMaT pone especial énfasis en el modelado y diseño de herramientas para nano-objetos complejos, e.j. nanopartículas con diferentes recubrimientos, nanohilos de multicapa, etc. Dado que las propiedades de la materia cambian a escala nanométrica se propone estudiar especialmente los fenómenos que ocurren en las intercaras de los nano-objetos constituyentes de nuevos materiales nanoestructurados.

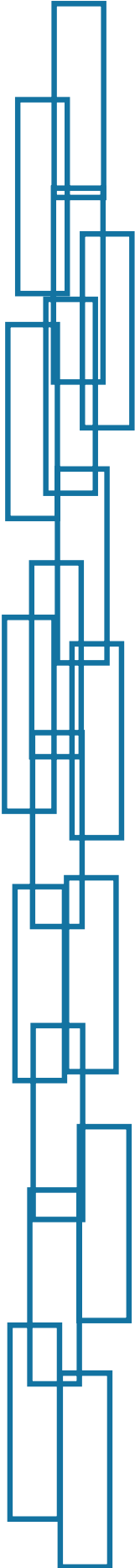
El análisis realizado por ENIAC de los sistemas electrónicos muestra que las fronteras tecnológicas entre los dispositivos semiconductores, empaquetamiento y tecnología de sistemas desaparecerán en un futuro cercano. No será posible diseñar dispositivos y tecnologías sin tener en cuenta el diseño de los chips y sus nano-constituyentes. Esto implica necesariamente un análisis y optimización de numerosos parámetros que solo puede ser realizado mediante un modelado y simulación que abarque distintas escalas. De hecho, en EuMaT, el modelado a "multi-escala" y la simulación teórica se consideran temas horizontales relacionados con todos los puntos clave relacionados con la plataforma (Knowledge-based Multifunctional Materials, Materials for Extreme Environments, Hybrid & MultiMaterials). La propuesta de "Integrated Multiscale Collaborative Frameworks" permite, por primera vez, tener en cuenta dentro de un contexto unificado, todos los fenómenos relevantes en el diseño de materiales, el procesado y las posibles aplicaciones, abarcando desde la escala atómica y molecular hasta la escala tradicional de la ingeniería.

### **Iniciativa M4nano**

"Modelado para la Nanotecnología ["Modeling for Nanotechnology" (M4nano)] es una iniciativa liderada por cuatro instituciones españolas: Universidad Autónoma de Madrid (UAM), Parque Científico de Madrid (PCM), Universidad Complutense y la Fundación Phantoms, con el objetivo de mantener un flujo sistemático de información entre grupos de investigación y, de esta manera, evitar la fragmentación de esfuerzos en las investigaciones relacionadas con la Nanotecnología. M4nano pretende ser la primera fuente de referencia en España y en Europa en el campo de la Nanotecnología cubriendo todos los tópicos que tienen relación con la teoría, modelado, diseño y simulaciones de materiales nanoestructurados, computación cuántica, química, física y biología computacional, nanomecánica, nanomáquinas, naoelectrónica, nanoprosos, nanomagnetismo, nanoóptica, nanomedicina, nanobiotecnología etc. Esta iniciativa, basada en internet permitirá obtener una visión general del estado del arte del modelling en Nanotecnología y de los últimos avances y actividades. M4nano, en estrecha colaboración con otras instituciones Españolas y Europeas involucradas en la investigación y desarrollo nanotecnológicos, pretende desarrollar distintas herramientas de trabajo como una base de datos sobre técnicas, grupos de investigación dedicados a la modelización en Nanotecnología, un Forum para estimular la discusión y colaboración entre grupos, una fuente de documentación (cursos, seminarios, resúmenes,...), etc. A medio plazo se pretende implementar un "HUB" computacional que sirva como repositorio de códigos de simulación para







modelización y diseño de nano-dispositivos. En relación con este último punto, se establecerán colaboraciones y acuerdos con iniciativas similares como "NanoHUB" de la NSF en los Estados Unidos (<http://www.nanohub.org>) o la Icode en Italia (<http://www.i-code.it/index.htm>).

## 5. Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2008-2011

Las simulaciones realmente interesantes en Nanociencia y Nanotecnología involucran escalas múltiples de tiempo y de longitud así como la combinación de materiales y moléculas que se han estudiado tradicionalmente en distintas disciplinas. Esto implica el desarrollo de nuevos métodos y la combinación de métodos teóricos desarrollados en distintos contextos. Por este motivo es esencial facilitar la colaboración y la formación de grupos interdisciplinares de investigadores teóricos, computacionales, matemáticos aplicados e informáticos.

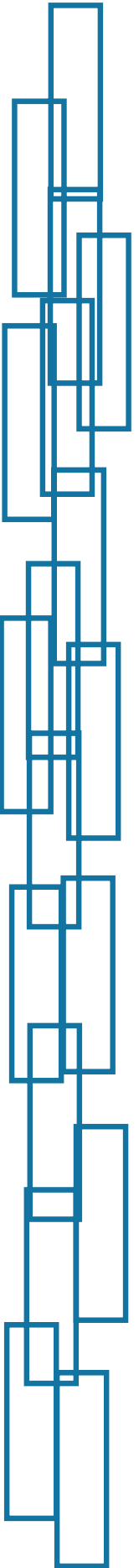
En paralelo a las Agendas Estratégicas de Investigación propuestas por las Plataformas Europeas, sería necesario considerar el modelado a "multi-escala" y la simulación teórica como tema "transversal" relacionado con multitud de conexiones con las diferentes iniciativas públicas y Planes de Investigación. Siguiendo el modelo europeo, se deberían tener en cuenta, dentro de un contexto unificado, todos los métodos teóricos y de simulación relevantes, en el diseño de materiales, el procesado y las posibles aplicaciones, abarcando desde la escala atómica y molecular hasta la escala tradicional de la ingeniería.

Todos los análisis relacionados con el impacto y la evolución de la nanotecnología coinciden en resaltar la relevancia del modelado y la simulación numérica. Sin embargo, la diversidad de técnicas y los diferentes puntos de vista con que se abordan problemas relacionados, hace que exista una gran fragmentación del conocimiento teórico acumulado en esta nueva rama de la Ciencia. Sería interesante estudiar con detalle la creación de la Red para la Computación en Nanotecnología (Network for Computational Nanotechnology <http://www.nanohub.org>) llevada a cabo en Purdue (EE.UU.) financiada por la NSF. Ésta red integra distintas disciplinas, expertos y diferentes áreas de aplicación alrededor de los mismos principios y herramientas específicas de la nanoescala. La parte visible de la red es el NanoHUB: un portal libre de Internet que ofrece herramientas de simulación "on-line", donde se puede consultar y compartir información "nano" (cursos, seminarios, informes sobre códigos y herramientas computacionales, etc.). El "NanoHUB" ha demostrado ser una herramienta extremadamente útil tanto para la investigación como para la enseñanza. El portal permitiría, tanto a estudiantes como profesores, acceder a recursos computacionales a los que difícilmente tendrían acceso en sus ordenadores personales.

## 6. Conclusiones

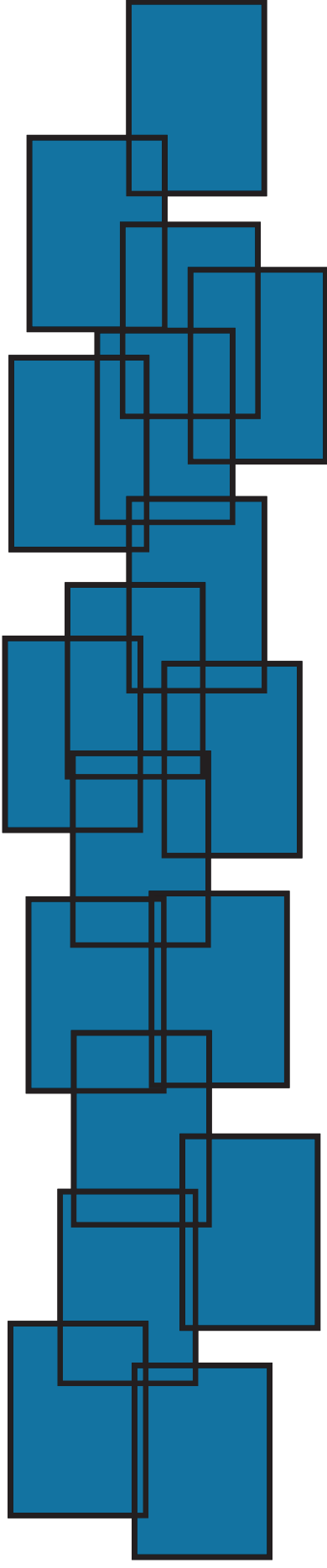
Los avances en teoría, modelado y simulación que hemos vivido en España durante los últimos años se pueden calificar de espectaculares. La relevancia de la simulación y el modelado en Nanociencia se manifiesta en su impacto en cada uno de los programas y actuaciones específicas en Nanotecnología. Como conclusión más relevante del análisis efectuado, destaca la necesidad de encontrar alguna herramienta o algún marco de trabajo que permita aglutinar, coordinar y optimizar el excelente trabajo que se realiza en distintas áreas. Por otra parte, la distancia cada vez más corta entre la investigación básica y las aplicaciones tecnológicas y la relevancia de los

modelos teóricos en este rápido desarrollo (un ejemplo actual lo encontramos en las industrias farmacéuticas y el diseño y optimización teórica de nuevos fármacos) hacen necesario un consenso sobre nuevos estándares en modelado y simulación. Dada la tradición y el alto nivel de la investigación “teórica” en España, una acción transversal específica no sólo sería extremadamente útil para optimizar y coordinar recursos locales sino que podría liderar el desarrollo del modelado y la simulación en Nanociencia en Europa.





# CONCLUSIONES





**Antonio Correia<sup>1</sup>**

**Pedro A. Serena<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> La reseña biográfica de ambos autores se encuentra en la página 8 (Introducción)

En los últimos años, ha habido una aceleración en el ritmo de financiación de las actividades en Nanociencia y Nanotecnología en nuestro país (ver Anexo II). Sin embargo, los expertos que han redactado los informes sectoriales perciben ciertos problemas y proponen ciertas soluciones que se han descrito en cada uno de los capítulos. Desde el punto de vista de la investigación básica (la nanociencia) los problemas son comunes a otros campos: necesidad de mayor financiación, mejora de infraestructuras, previsión de falta de jóvenes investigadores a medio plazo en ciertas áreas. Si nos referimos a la nanotecnología (con una componente más aplicada) los problemas detectados son similares a los ya mencionados, a los que hay que añadir otras cuestiones como la falta de un tejido industrial al que hacer efectiva una eficiente transferencia de tecnología. Los expertos también nos hacen ver que nuestro tejido industrial tiene una capacidad de adaptarse a las nanotecnologías bastante desigual, dependiendo del sector del que se trate.

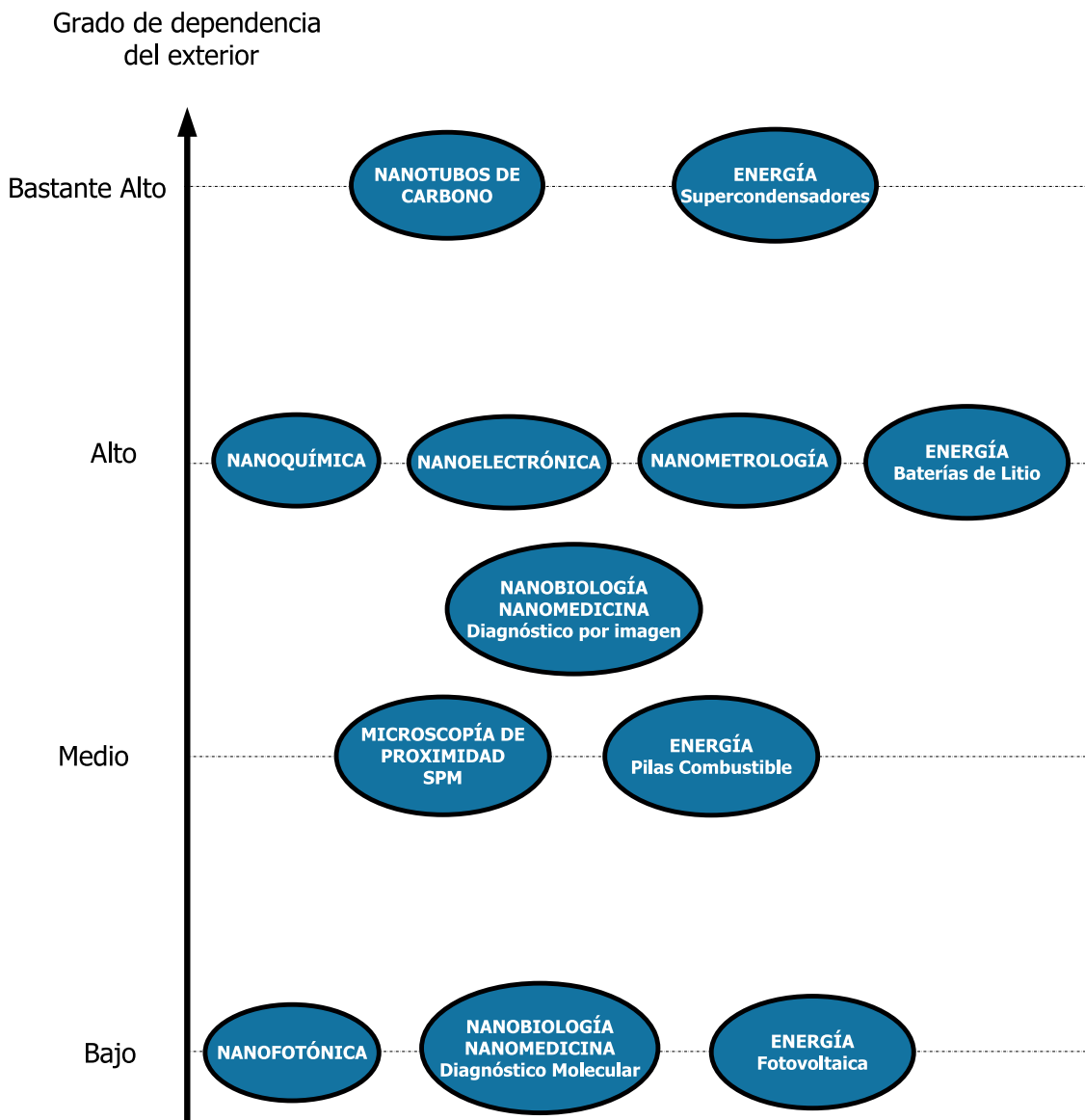
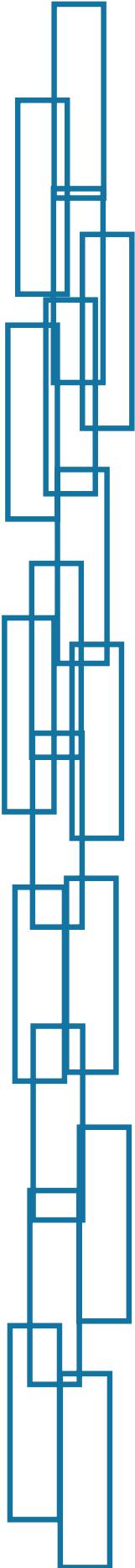


Figura 1. Grado de dependencia del exterior (a nivel industrial) en cada área temática de la nanotecnología según los expertos que han redactado el informe



En la Figura 1 se muestra el grado de dependencia del exterior de cada sector de ámbito "nano". Una dependencia alta significa que ese sector tiene poca masa crítica o no tiene un respaldo tecnológico fuerte en comparación con las industrias de otros países. Se evidencia que hay sectores relativamente bien posicionados, como la nanofotónica, la energía fotovoltaica, y la nanobiotecnología, mientras que en el extremo opuesto (elevada dependencia) encontramos los temas de nanotubos de carbono o los supercondensadores. Esta figura nos invita claramente a realizar una reflexión que debe ser debatida en los foros pertinentes: ¿es mejor adoptar la política de reforzar uniformemente todos los sectores o se debe apostar claramente por aquellos en lo que ya disponemos de cierta ventaja aunque esto suponga perder oportunidades en los sectores rezagados?. La respuesta que se puede extraer de las experiencias de los países de nuestro entorno es que la política más adecuada debe pasar por la identificación de los sectores donde tenemos cierta ventaja competitiva y apostar por ellos de forma decisiva. Sin embargo, también es obvio que dicha apuesta debe hacerse sobre la base de estudios económicos y estratégicos de mucho mayor calado que los aquí presentados.

La sintomatología detectada ya lo ha sido en ocasiones anteriores. Hay que hacer o proponer (al menos) algunas indicaciones o directrices. A juicio de los expertos que han redactado este informe, las soluciones al conjunto de problemas identificados pasan por adoptar una serie de medidas, algunas de las cuales se repiten con cierta insistencia (figura 2). Las más importantes son:

- Fomentar la creación de empresas de base tecnológica de tipo spin-off.
- Mejorar los mecanismos de transferencia tecnológica.
- Mejorar las infraestructuras científicas.
- Mejorar la relación entre grupos de investigación nacionales.
- Impulsar la realización de actividades conjuntas entre empresas y centros de investigación.

Hay que destacar que las medidas que proponen los expertos están mayoritariamente relacionadas con la mejora de la interacción entre centros públicos de investigación y la industria. Los problemas de financiación de proyectos y personal, de gestión de la investigación, etc., parecen haber pasado a un segundo plano. Esto quiere decir que existe una gran concienciación en los investigadores sobre la importancia de las actividades de transferencia de conocimientos. El que exista cierta unanimidad al respecto también puede ser un aliciente para establecer decididas políticas para incentivar la transferencia. También es importante señalar que el mismo tipo de conclusiones se alcanzan en otros informes emitidos por diversos organismos.

También debemos mencionar que una de las soluciones propuestas con mayor énfasis, incentivar la creación de spin-offs, es un tema de gran complejidad que requiere múltiples actuaciones: inculcar el espíritu emprendedor desde la educación primaria, incluir materias optativas relacionadas con la creación de empresas en los programas de las carreras experimentales, facilitar información y formación a los emprendedores, facilitar legalmente la participación con mayor porcentaje de investigadores públicos en empresas, atraer empresas de capital semilla y capital riesgo, involucrar a las Oficinas de Transferencia de Tecnología, etc. Un reto que requiere una solución bien meditada y bien planificada.

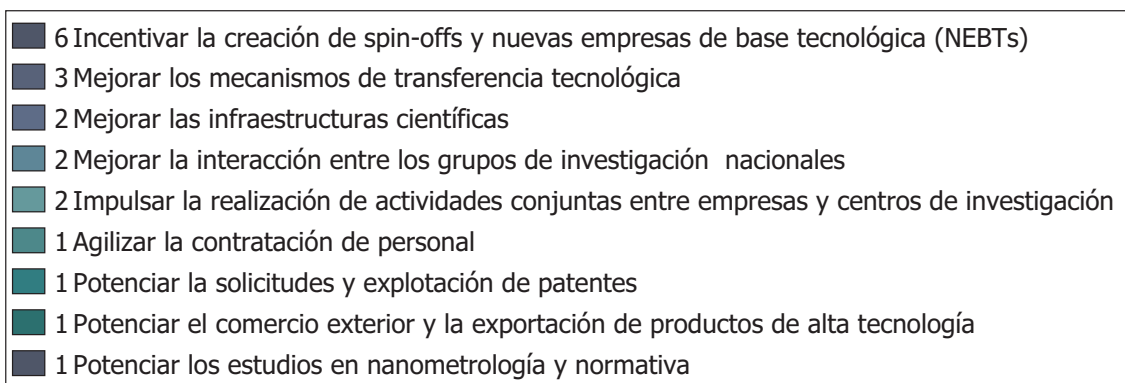
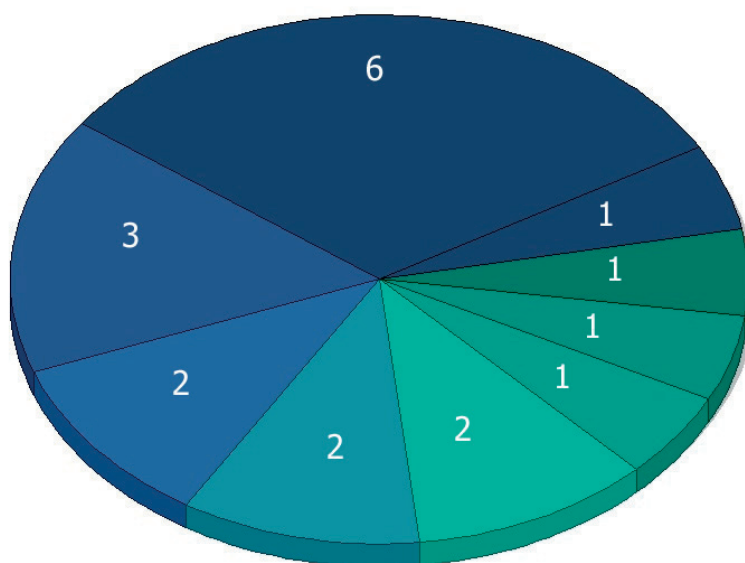
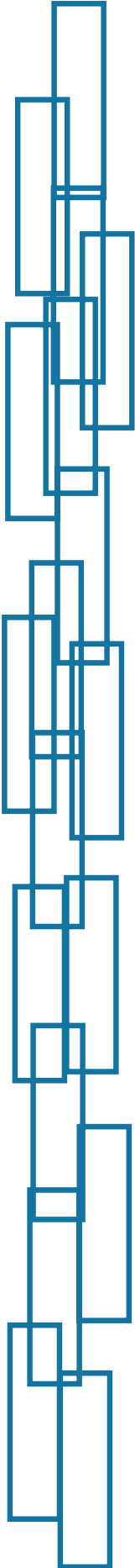


Figura 2. Iniciativas propuestas por los expertos para mejorar las actividades de I+D+i en el ámbito de las Nanotecnologías (el número indica las veces que se ha encontrado esa respuesta).

A lo largo del presente informe ha quedado demostrado que la actividad en Nanotecnología puede encontrarse en un punto de inflexión, tras unos años titubeantes en los que los esfuerzos realizados han sido loables pero insuficientes. A corto y medio plazo nos encontramos en un nuevo escenario, con un recién estrenado Plan Nacional que incorpora toda una Acción Estratégica que incluye diferentes formas de financiación de las actividades en Nanotecnología. Por otro lado, los tres próximos años serán testigos de la puesta en marcha definitiva de nuevos centros de investigación (Instituto de Nanociencia de Aragón, CIN2, Instituto de Nanociencia de Asturias, IMDEA Nanociencia, Laboratorio Internacional de Nanotecnología de Braga (INL), CIC nanoGUNE y BIONAND) que requerirá una gran inversión en infraestructuras, a la vez que la incorporación de forma masiva de investigadores cualificados. Este contexto supone un nuevo reto para la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas, que no deberían desaprovechar la oportunidad de posicionar en lugar relevante a España en este campo científico-tecnológico. Por si todo lo anterior fuese poco, existe un grupo (aún reducido) de empresas que empiezan a moverse en la dirección de intentar aplicar nanotecnologías en sus esquemas de producción. Con estas condiciones de contorno ¿cuál debe ser el papel de los otros agentes del sistema de I+D+i?, ¿cómo debe adaptarse la Red NanoSpain a la nueva situación?.





La Red NanoSpain, no sólo basa su fortaleza aglutinadora en los “grandes números” (234 grupos – 1800 participantes – ver figura 1 del Anexo I), sino que también cuenta con la baza estratégica de representar de forma razonable todos los ámbitos científicos donde la nanotecnología tiene algo que decir (ver figuras 2, 3 y 4 del Anexo I).

Dicha Red también tiene una importante representatividad territorial (ver figura 1 del Anexo I) con los pesos esperados para las distintas comunidades autónomas. Es evidente el liderazgo de Madrid y Cataluña, seguidas por el País Vasco y la Comunidad Valenciana. Dada la gran cantidad de miembros, NanoSpain también tiene una adecuada distribución institucional con un 58% de grupos de universidades, un 22% de grupos del CSIC, un 11% de grupos de centros tecnológicos y fundaciones, y finalmente un 9% de grupos de ámbito empresarial.

Por lo tanto, creemos que se ha acreditado suficientemente la alta representatividad de NanoSpain, por lo que dicha red puede ser un instrumento fundamental en el diseño, seguimiento y evaluación de políticas científicas enfocadas a esta comunidad.

Los siguientes puntos podrían ser los que determinen un papel relevante de NanoSpain en el futuro:

- Incentivar la interacción de la Red con las Plataformas Tecnológicas y otras redes sectoriales, más focalizadas, que están surgiendo en el panorama nacional. En especial, habría que fomentar los contactos con aquellas que están relacionadas con las aplicaciones industriales de la nanotecnología.
- Establecer relaciones con otras redes internacionales, mejorando las relaciones ya existentes con las redes de Portugal (PortugalNano) y del Sur de Francia (C´Nano GSO). Habría que hacer un esfuerzo importante para atraer los dispersos esfuerzos de coordinación que hay en Iberoamérica y convertir a NanoSpain en referente de dicha región.
- Mejorar, con la participación de todos los miembros, los datos referentes a la financiación de los grupos de investigación para constituir una referencia nacional e internacional de información. Estos datos permitirían realizar informes como éste con cierta periodicidad.
- Ayudar a configurar, a nivel nacional, un mapa actualizado de infraestructuras dedicadas a nanotecnología, mejorando algunos intentos anteriores.
- Ayudar a configurar un mapa de estudios de maestría y doctorado relacionados con la nanotecnología, con la finalidad de facilitar esa información a jóvenes estudiantes españoles y ayudar a captar jóvenes investigadores de origen internacional.
- Iniciar actividades en el ámbito de la divulgación y establecer una continuada interacción con los medios de comunicación.

Es obvio que todas estas actividades requieren la participación de los diferentes grupos españoles (y de la Red NanoSpain en particular), pero también requieren del apoyo logístico y financiero por parte de la Administración General del Estado, que debe percatarse del papel que NanoSpain posee como aglutinador de grupos, punto de encuentro y transmisor de información.





# ANEXO I

## LISTADO DE MIEMBROS DE LA RED ESPAÑOLA DE NANOTECNOLOGÍA

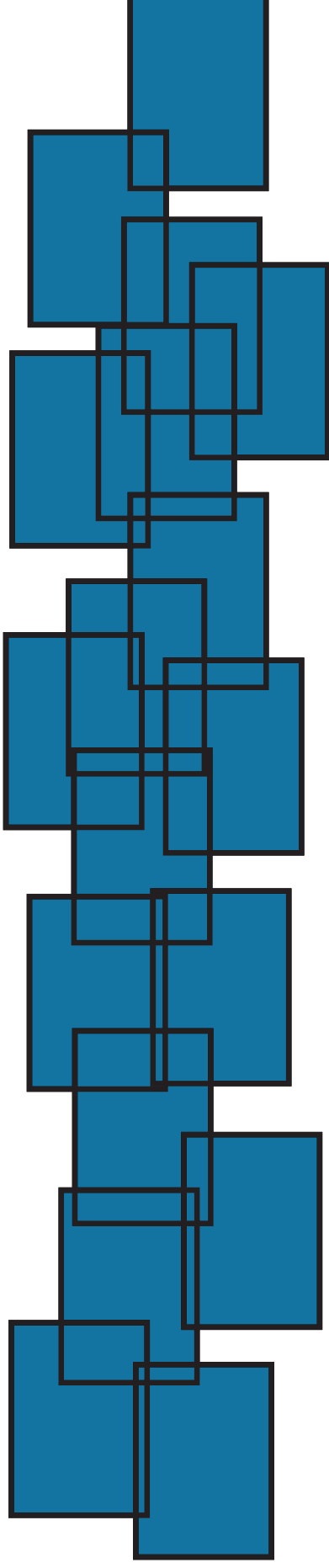






Figura 1. Relación de los grupos de NanoSpain por comunidad autónoma. (A fecha 31 de diciembre de 2007)

- Fundaciones, Centros Tecnológicos, Institutos / Centros de Investigación y Universidades
- Empresas

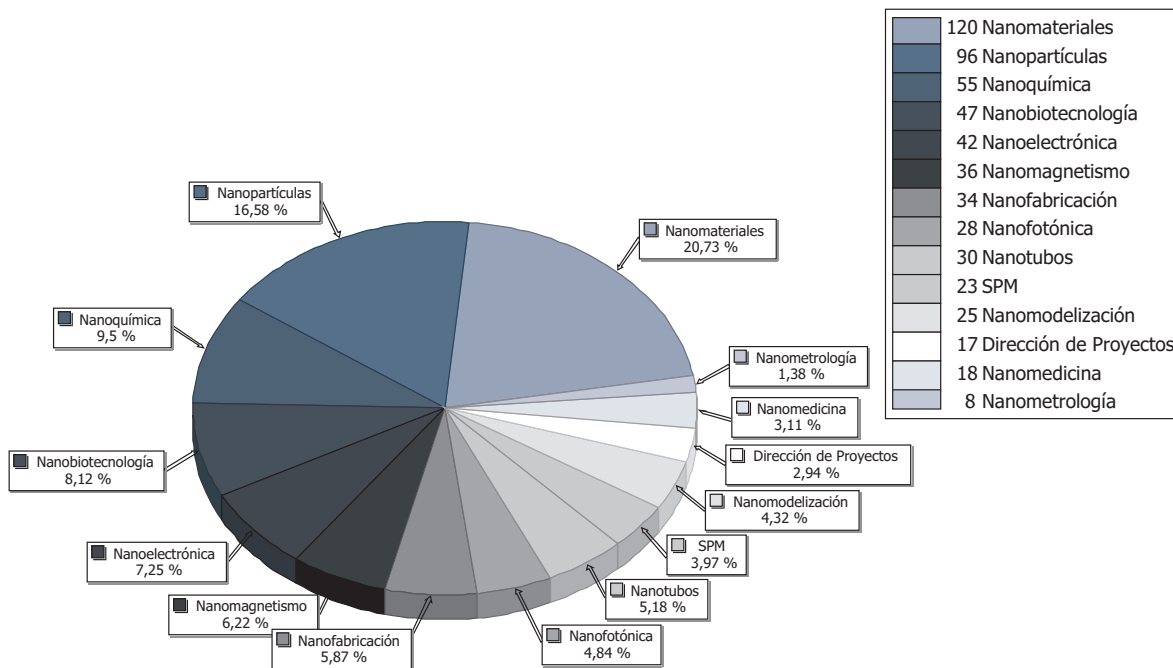
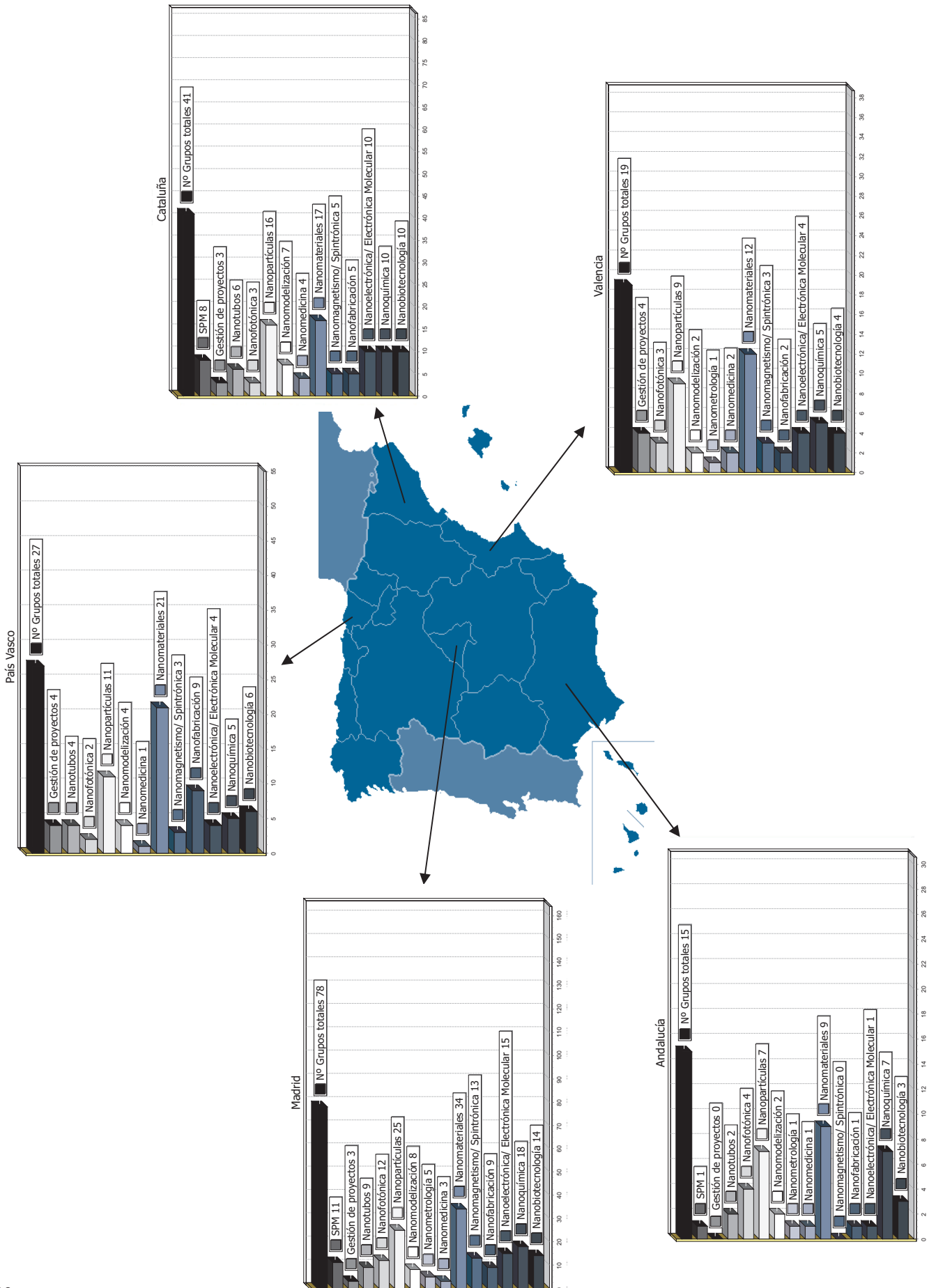


Figura 2. Relación de las Áreas de trabajo de los miembros de NanoSpain

Figura 3. Áreas de trabajo de los miembros de NanoSpain por Comunidad Autónoma con mayor número de grupos. Se pueden dar varias áreas de trabajo por grupo



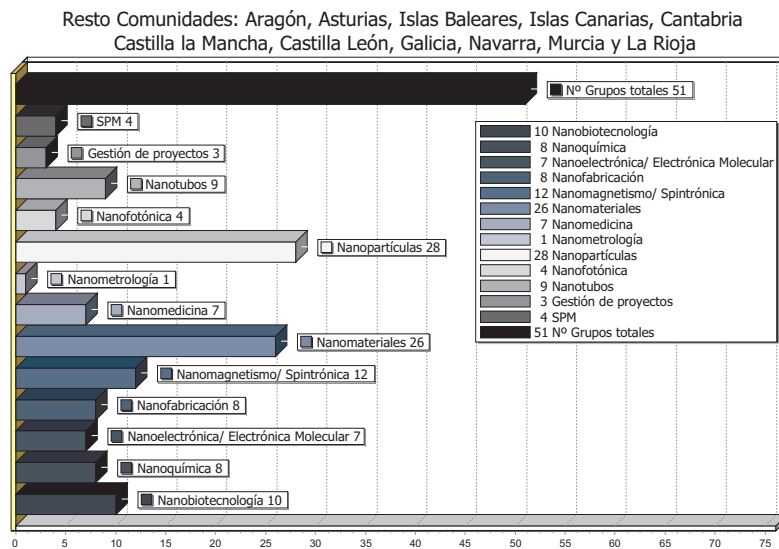


Figura 4. Áreas de trabajo del resto de Comunidades Autónomas.  
Se pueden dar varias áreas de trabajo por grupo

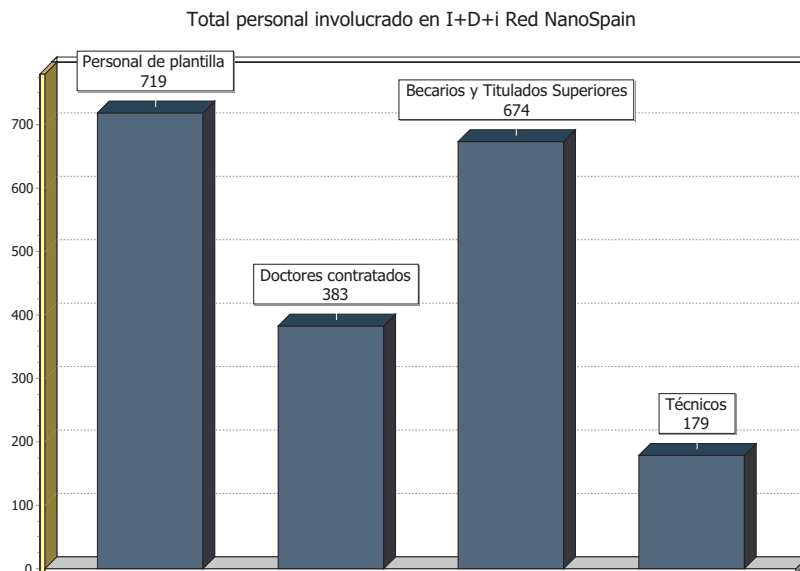


Figura 5. Distribución de personal encuadrado en los grupos de la red NanoSpain.  
(A fecha de 31 de diciembre de 2007)

Como se muestra en la Figura 5, y a fecha de 31 de diciembre de 2007, los grupos de la Red NanoSpain (de los 234 grupos totales, 185 actualizaron datos) estaban formados por 719 investigadores de plantilla, 383 doctores contratados, 674 investigadores en formación y titulados superiores, y 179 técnicos (1955 personas en total).

Estos números muestran el potencial que las Nanotecnologías tienen en España, y convierten a NanoSpain en una clara referencia en el ámbito "nano". Sin embargo estos números palidecen cuando se comparan con los que se manejan en instituciones como Minatéc (CEA Grenoble, Francia), donde trabajarán en un futuro próximo alrededor de 4000 personas en temas relacionados con Nanociencia y Nanotecnología. La "nano"-comunidad española es importante pero aún no puede compararse a la existente en los países de mayor tradición investigadora.



Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Instituto de Óptica	Procesos Ópticos en Medios Confinados	AFONSO, Carmen N.	cnafonso@io.cfmac.csic.es	Nanopartículas Nanofabricación Nanofotónica
Universidad Autónoma de Madrid	Física de la Materia Condensada	AGRAÏT, Nicolás	nicolas.agrait@uam.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular SPM
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-CSIC	Teoría de la Materia Condensada	AGUADO SOLA, Ramón	raguado@icmm.csic.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomagnetismo Espintrónica Nanomodelización
Materials Science Institute of Madrid-CSIC	Optical, Magnetic and Transport Properties	AGULLO RUEDA, Fernando	far@icmm.csic.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales Nanofotónica
Universidad de Oviedo/Facultad de Ciencias	Departamento de Física	ALAMEDA, Jose Maria	alameda@string1.ciencias.uniovi.es	Nanomagnetismo Espintrónica SPM, Nanofabricación
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid	Física e Ingeniería de Superficies	ALBELLA MARTIN, Jose Maria	albella@icmm.csic.es	Nanomateriales SPM Nanotubos
University Complutense of Madrid	Optics. School of Optics.	ALDA, Javier	j.alda@opt.ucm.es	Nanofotónica Nanomodelización Nanometrología
Universidad Autónoma de Madrid	Física Materia Condensada	ALIEV, Farkhad	farkhad.aliev@uam.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanopartículas
Facultad de Ciencia y Tecnología	Dept. Bioquímica y Biología Molecular; Unidad de Biofísica Centro Mixto CSIC-UPV	ALKORTA CALVO, Itziar	itzi.alkorta@ehu.es	Nanoquímica Dirección de Proyectos Nanomedicina
NANOGAP SUBnmPOWDER SA		ALONSO FERNANDEZ, Luis Manuel	lm.alonso@nanogap.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanomedicina
Universidad de Santiago de Compostela /Facultad de Farmacia	Farmacia - Tecnología Farmaceutica	ALONSO FERNANDEZ, Maria José	ffmjalon@usc.es	Nanoquímica Nanopartículas
Universidad de Valladolid	Departamento de Física Teórica y Física Atómica, Molecular y Nuclear	ALONSO MARTIN, Julio Alfonso	jaalonso@fta.uva.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanotubos
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid	Intercaras y Crecimiento	ALONSO PRIETO, María	malonso@icmm.csic.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales SPM

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
University of Valladolid	Chemical Engineering Department	ALONSO SANCHEZ, Esther	ealonso@iq.uva.es	Nanopartículas Nanofabricación Dirección de Proyectos
LEITAT	Nanotecnología	AMANTIA, David	damantia@leitat.org	Nanomateriales Nanopartículas Dirección de Proyectos
Aragonesa de Componentes Pasivos, S.A.	Aragonesa de Componentes Pasivos, S.A.	ANTORRENA PARDO, Guillermo	guillermo.antorrena@acptechologies.com	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanopartículas
Mondragon Goi-Eskola Politeknikoa (MGEP)	Departamento de Mecánica	AROSTEGI, Asier	aarostegui@eps.mondragon.edu	Nanomateriales Nanopartículas Nanofabricación
Universidad Pública de Navarra	Ingeniería Eléctrica y Electrónica	ARREGUI SAN MARTIN, Francisco Javier	parregui@unavarra.es	Nanomateriales Nanofotónica
Universidad del País Vasco - POLYMAT	Institute for Polymer Materials	ASUA GONZALEZ, Jose M.	jmasua@sq.ehu.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Packaging, Transport and Logistics Research Institute	Packaging, Transport and Logistics Research Institute	AUCEJO, Susana	saucejo@itene.com	Nanomateriales Nanopartículas
Universidad Autónoma de Barcelona	Ingeniería Electrónica	AYMERICH, Xavier	xavier.aymerich@uab.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular SPM
TEKNIKER	Fundación Tekniker	AZCARATE LETURIA, Sabino	sazcarate@tekniker.es	Nanoquímica Nanofabricación Nanofotónica
Centre Nacional de Microelectronica & Institut Català de Nanotecnologia		BACHTOLD, Adrian	adrian.bachtold@cnm.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanotubos
ICFO-Institut de Ciències Fotòniques	Nanofotónica	BADENES, Goncal	goncal.badenes@icfo.es	Nanofabricación Nanofotónica
Instituto de Catálisis y Petroleoquímica - CSIC	Estructura y Reactividad	BAÑARES, Miguel A.	banares@icp.csic.es	
Universidad de Barcelona	Facultad de Física, Depto. ECM	BARBERAN, Nuria	nuri@ecm.ub.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanopartículas Nanomodelización
Universidad Autónoma de Barcelona	Ingeniería Electrónica Escuela Técnica Superior de Ingeniería	BARNIOL BEUMALA, Nuria	Nuria.Barniol@uab.es	Nanofabricación

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Universidad Autónoma de Barcelona	Ciencias Físicas	BARÓ MARINÉ, Dolors	dolors.baro@uab.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad Autónoma de Madrid	Departamento de Física de la Materia Condensada	BARO VIDAL, Arturo	arturo_baro@carbon.icb.csic.es	
Consejo Superior de Investigaciones Científicas- Universidad de Zaragoza	Departamento V, Física de Bajas Temperaturas	BARTOLOMÉ SANJOAQUIN, Juan	baro@unizar.es	
NanoBioMatters	NanoBioMatters	BERGMANN, Steffi	sbergmann@nanobiomatters.com	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad Complutense de Madrid	OPTICA - CAI FÍSICAS - UCM	BERNABEU, EUSEBIO	ebernabeu@fis.ucm.es	
Barcelona University	IN2UB (Institute of Nanoscience & Nanotechnology of the University of Barcelona)	BERTRAN, Enric	ebertran@ub.edu	Nanopartículas Nanofabricación Nanotubos
Universitat Jaume I	Física ESTCE	BISQUERT MASCARELL, Juan	bisquert@uji.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanofotónica
Airbus España	Materiales Compuestos	BLANCO VARELA, Tamara	tamara.blanco@airbus.com	Nanomateriales Nanofabricación Nanotubos
Universidad Complutense de Madrid	Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica	BLAZQUEZ IZQUIERDO, Ma Luisa	mlblazqu@quim.ucm.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
PrincipiaTech Navarra		BRAVO VILLAMAYOR, Ernesto	ernesto.bravo@telefonica.net	Nanopartículas Nanofabricación Dirección de Proyectos
Instituto de Microelectrónica de Madrid	Fabricación y caracterización de nanoestructuras Instituto de Microelectrónica de Madrid-IMM	BRIONES, Fernando	briones@imm.cnm.csic.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomagnetismo Espintrónica Nanofabricación
Facultad de Ciencias/Universidad Autónoma de Madrid	Departamento de Química Orgánica	BRUNET ROMERO, Ernesto	ernesto.brunet@uam.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad Politécnica de Catalunya	Applied Physics	CALDERON MORENO, Jose	jose.calderon@upc.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanotubos

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Universidad Politécnica de Madrid	Ingeniería Electrónica E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación	CALLEJA PARDO, Enrique	calleja@die.upm.es	
Universidad Autónoma de Madrid	Física de Materiales Facultad de Ciencias	CALLEJA, J.M.	jose.calleja@uam.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales Nanofotónica
Universidad de Valencia	Instituto de Ciencia de Materiales	CANTARERO SAEZ, Andres	andres.cantarero@uv.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanomodelización
IZASA S.A		CARDENAS SALAS, Alfonso	acardenas@izasa.es	
Universidad del País Vasco	Química Física	CASTAÑO ALMENDRAL, Fernando	f.castano@ehu.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanofabricación
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Fabricación y Caracterización de Nanoestructuras, Instituto de Microelectrónica de Madrid	CEBOLLADA, Alfonso	alfonso@imm.cnm.csic.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad de Castilla - La Mancha	Física Aplicada, Facultad de Ciencias del Medio Ambiente	CHICO GOMEZ, Leonor	Leonor.Chico@uclm.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales
Universidade de Vigo	Física Aplicada, E.T.S.I. Industriales	CHIUSI, Stefano	schiussi@uvigo.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales Nanofabricación
Universidad de Murcia	Departamento de Física	COLCHERO PAETZ, Jaime	colchero@um.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular SPM, Nanofotónica
Universidad de Castilla- La Mancha	Física Aplicada	COLINO GARCÍA, Jose M.	JoseMiguel.Colino@uclm.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanofabricación
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Catálisis Aplicada, Instituto de Catálisis y Petroleoquímica	CONESA, José C.	jcconesa@icp.csic.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanomodelización
Universidad de Valencia		CORONADO MIRALLES, Eugenio	eugenio.coronado@uv.es	Nanoquímica Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomagnetismo Espintrónica

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Institute de Nanociencia de Aragón	Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente	CORONAS CERESUELA Joaquín	coronas@unizar.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanotubos
Phantoms Foundation		CORREIA, Antonio	antonio@phantomsnet.net	Dirección de Proyectos
Escuela Universitaria Politécnica, Universidad de Castilla - La Mancha	Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos	CUBERES MONTSERRAT, M <sup>a</sup> Teresa	teresa.cuberes@uclm.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular SPM, Nanofabricación
Universidad Carlos III de Madrid	Departamento de Física, Escuela Politécnica Superior	DE LA CRUZ, Rosa M <sup>a</sup>	rmc@fis.uc3m.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales Nanomodelización
Instuto de Nanociencia de Aragón - University of Zaragoza		DE LA FUENTE Jesús M.	jmfuente@unizar.es	Nanoquímica Nanoquímica Nanomedicina
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Grupo de Tamices Moleculares	DÍAZ, Isabel	idiaz@icp.csic.es	Nanoquímica Nanomateriales
Facultad de Medicina, Universidad de Valladolid	Instituto Universitario de Oftalmobiología Aplicada (IOBA)	DIEBOLD LUQUE, Yolanda	yol@ioba.med.uva.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanomedicina
Universidad de Sevilla	Física de la Materia Condensada, Facultad de Física	DOMIGUEZ RODRIGUEZ, Arturo	adorod@us.es	Nanomateriales Nanomodelización
Universidad de Granada	Química Inorgánica	DOMINGUEZ VERA, José M.	josema@ugr.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanomedicina
Universidad de Castilla La Mancha	Química Física - Facultad del Medio Ambiente	DOUHAL ALAUI, Abderrazzak	abderrazzak.douhal@uclm.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanotubos
Donostia International Physics Center (DIPC) & Centro Mixto-CSIC,UPV/EHU	DIPC, Depart de Física de Materiales y Unidad de Física de Materiales	ECHENIQUE LANDIRIBAR, Pedro	wapetlap@sq.ehu.es	Nanomateriales Nanotubos Nanomodelización
Polymat		EGUIAZABAL, José Ignacio	josei.eguiazabal@ehu.es	Nanomateriales Nanopartículas
Ásoc. Investigación Industria Agroalimentaria	Tecnologías del Envase	ENGUIX NICOLÁS, Carlos	cenguix@ainia.es	Nanopartículas Dirección de Proyectos Nanometrología
IRB Barcelona, PCB, IBMB	Química y Farmacología Molecular	ERITJA CASADELLA, Ramon	recgma@cid.csic.es	Nanoquímica Nanomedicina
Inst de Estructura de la Materia	Macromolecular Physics	EZQUERRA SANZ, Tiberio	imte155@iem.cfmac.csic.es	Nanomateriales, Nanotubos s Nanometrología

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
FUNDACION L'UREDERRA		FERNANDEZ ACEVEDO, Claudio	claudio.fernandez@lurederra.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanofabricación
Universidad de Cantabria	CITIMAC	FERNANDEZ BARQUIN, Luis	barquin@unican.es	Nanoquímica Nanomagnetismo Espintrónica Nanopartículas
Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla	Superficies e Interfases	FERNANDEZ CAMACHO, M <sup>a</sup> Asuncion	asuncion@icmse.csic.es	Nanomateriales Nanopartículas
Instituto de Catálisis y Petroleoquímica		FERNANDEZ GARCIA, MARCOS	mfg@icp.csic.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad País Vasco	Electricidad y Electrónica	FERNANDEZ GUBIEDA, M <sup>a</sup> Luisa	malu@we.lc.ehu.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanopartículas Nanofabricación
Institute of Catalysis-Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Biocatálisis, Catálisis	FERNANDEZ, Victor M.	vmfernandez@icp.csic.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanotubos
Facultad de Ciencias, Universidad de Oviedo	Física	FERRER RODRIGUEZ, Jaime	ferrer@condmat01.geol.uniovi.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomagnetismo Espintrónica Nanomodelización
Facultad de Química - Universidad de Alcalá	Química Inorgánica	FLORES, Juan Carlos	juanc.flores@uah.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanomedicina
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Materiales porosos funcionales	FUERTE, Antonio B.	abefu@incar.csic.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad de Granada	Electrónica y Tecnología de Computadores	GAMIZ, Francisco	fgamiz@ugr.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanotubos Nanomodelización
Instituto de Microelectrónica de Madrid	Fabricación y Caracterización de Nanoestructuras, Instituto de Microelectrónica de Madrid	GARCIA GARCIA, Ricardo	rgarcia@imm.cnm.csic.es	
Facultad de Ciencias - Universidad de Alicante	Química Inorgánica	GARCIA MARTINEZ, Javier	j.garcia@ua.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Instituto de Estructura de la Materia	Espectroscopía Vibracional y Procesos Multifotónicos	GARCIA-RAMOS, José V.	imtg160@iem.cfmac.csic.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanofotónica
Nanotec Electronica S.L.	Nanotec Electronica	GIL, Adriana	adriana.gil@nanotec.es	SPM
Universitat Jaume I	Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales y Diseño (ESID).	GIMENEZ, Enrique	gimenezt@esid.uji.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
GAIKER Centro Tecnológico		GOMEZ ALONSO, Jose Luis	gomez@gaiker.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanotubos
AVANZARE Innovación Tecnológica S.L.	Dpto de Proyectos de I+D+I	GÓMEZ CORDON, Julio	jgomez@avanzare.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona / Centro de Investigaciones en Nanociencia y Nanotecnología (CIN2)	Department Crystallography and Solid State Chemistry	GOMEZ ROMERO, Pedro	pedro@icmab.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid	Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química	GONZALEZ BENITO, Fco. Javier	javid@ing.uc3m.es	Nanoquímica Nanomateriales SPM
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid	Propiedades Ópticas Magnéticas y de Transporte	GONZALEZ FERNANDEZ, Jesús Ma	jesus.m.gonzalez@icmm.csic.es	
Fundación para o Fomento da Calidade Industrial e o Desenvolvemento Tecnolóxico de Galicia	I+D	GONZALEZ JORGE, Higinio	hgonzalez@lomg.net	Nanofabricación Nanometrología
University of Salamanca	Departamento de Física Aplicada	GONZALEZ SANCHEZ, Tomas	tomasg@usal.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomodelización
Universidad del País Vasco	Física de Materiales	GONZALEZ, Julián	wapgoesj@sc.ehu.es	
Universidad Complutense de Madrid	Química Inorgánica	GONZALEZ-CALBET, José Maria	jgcalbet@quim.ucm.es	
CIDETEC	Dpto. de Nuevos Materiales y Dpto. de Energía	GRANDE TELLERIA, HasnJurgen	jhgrande@cidetec.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales Nanopartículas

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Universidad Autónoma de Madrid	Física Aplicada, Facultad de Ciencias	GUTIERREZ DELGADO, Alejandro	a.gutierrez@uam.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad de Oviedo	Dpto. de Física, Facultad de Ciencias	HERNANDO GRANDE, Blanca	grande@uniovi.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad Complutense de Madrid	Laboratorio Salvador Velayos	HERNANDO, Antonio	antonio.hernando@adif.es	Nanoquímica Nanomagnetismo Espintrónica Nanopartículas
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas	Combustibles Fósiles	HONTAÑÓN, Esther	Esther.Hontanon@ciemat.es	
Instituto de Nanociencia de Aragón (INA)	Física de la Materia Condensada-ICMA, Facultad de Ciencias	IBARRA GARCIA, Manuel Ricardo	ibarra@unizar.es	Nanoquímica Nanomagnetismo Espintrónica Nanopartículas
Universidad de Navarra	Farmacia y Tecnología Farmacéutica	IRACHE GARRETA, Juan Manuel	jmirache@unav.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanomedicina
Addlink Software Científico, S.L.	Addlink Software Científico, S.L.	JIMÉNEZ Emilia	emilia@addlink.es	Nanomodelización
Universitat Rovira i Virgili		KATAKIS, Ioanis	ikatakis@etseq.urv.es	Nanoquímica Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomagnetismo Espintrónica
Universidad de Barcelona	Física Fundamental, Facultad de Física	LABARTA RODRIGUEZ, Amílcar	amilcar@ffn.ub.es	Nanoquímica Nanomagnetismo Espintrónica Nanopartículas
Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos	Conservación y calidad de los alimentos	LAGARON, Jose María	lagaron@iata.csic.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Facultad de Ciencias del Medio Ambiente - Universidad de Castilla-La Mancha	Química Inorgánica, Orgánica y Bioquímica	LANGA DE LA PUENTE, Fernando	Fernando.LPuente@uclm.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanotubos
Universidad Politécnica de Madrid	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales	LARENA, Alicia	alarena@iqi.etsii.upm.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanofabricación



Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
SENSIA, SL (GRUPO GENETRIX)		LARROULET Iban	ilarroulet@seimcc.com	Nanoquímica Nanofotónica Nanomedicina
Facultad de Ciencias - Universidad de Málaga	Química Analítica	LASERNA, Javier	laserna@uma.es	Nanomateriales Nanofabricación
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	CENTRO NACIONAL DE MICROELECTRONICA (IMM-CNM),	LECHUGA, Laura	laura@imm.cnm.csic.es	Nanoquímica SPM Nanofotónica
University of Vigo	Department of Physical Chemistry	LIZ-MARZÁN, Luis M.	Lmarzan@uvigo.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanofotónica
University of the Basque Country	Department of Physical Chemistry	LOPEZ ARBELOA, Fernando	fernando.lopezarbeloa@ehu.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanofotónica
Centro Nacional de Biotecnología	Estructura de Macromoléculas, Centro Nacional de Biotecnología	LOPEZ CARRASCOSA, José	jcarrascosa@cnb.uam.es	Nanoquímica Nanomateriales SPM
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid	POMT	LOPEZ FERNANDEZ, Cefe	cefe@icmm.csic.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanofotónica
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros-CSIC	LÓPEZ MANCHADO, Miguel Ángel	lmanchado@ictp.csic.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanotubos
Universidad de Santiago de Compostela	Departamento de Química Física	LOPEZ QUINTELA, Manuel Arturo	qfarturo@usc.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad de Málaga	Química Orgánica - Facultad de Ciencias	LOPEZ ROMERO, Juan Manuel	jmromero@uma.es	Nanoquímica
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Teoría de la Materia Condensada	LOPEZ SANCHO, M <sup>a</sup> del Pilar	pilar@icmm.csic.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomagnetismo Espintrónica Nanotubos
Asociación de Investigación de Industrias de la Construcción	Proyectos I+D+I	LOPEZ TENDERO, María José	mlopezt@aidico.es	Nanomateriales Nanopartículas Dirección de Proyectos
Escuela de ingenieros de telecomunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid	Grupo de bioingeniería y telemedicina	MAESTU UNTURBE, Ceferino	cmaestu@gbt.tfo.upm.es	Nanoquímica Nanomagnetismo Espintrónica Nanopartículas

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Universidad de Cantabria	Física Moderna	MAÑANES PÉREZ, Ángel	angel.mananes@unican.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanotubos
Universidad Autónoma de Madrid	Física de Materiales, C-IV Facultad de Ciencias	MARQUÉS PONCE, Manuel Ignacio	manuel.marques@uam.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanomodelización
Universidad Rovira i Virgili	Ingeniería Electrónica, Eléctrica y Automática	MARSAL, Lluís F.	lmarsal@etse.urv.es	Nanomateriales Nanofotónica Nanomodelización
Universidad Politécnica de Valencia		MARTI SENDRA, Javier	jmarti@ntc.upv.es	Nanomateriales Nanofabricación Nanofotónica
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Física e ingeniería de superficies, Institución de Materiales de Madrid	MARTÍN GAGO, José Ángel	gago@icmm.csic.es	Nanoquímica Nanoelectrónica Electrónica Molecular SPM
Universidad Complutense de Madrid	Química Orgánica - Facultad de Ciencias Químicas	MARTIN LEON, Nazario	nazmar@quim.ucm.es	Nanoquímica Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales
Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agroalimentaria	Medio Ambiente	MARTIN-ESTEBAN, Antonio	amartin@inia.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Energía y Medio Ambiente	MARTINEZ FEZ DE LANDA, María Teresa	mtmartinez@carbon.icb.csic.es	
Nanozar S.L.	Nanozar	MASER, Wolfgang	w.maser@nanozar.com	Nanoquímica Nanomateriales Nanotubos
University of the Basque Country	Chemistry	MATXAIN, Jon M.	jonmattin.matxain@ehu.es	Nanoquímica Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales
Universidad Rovira i Virgili	Depto. Ingeniería Química	MEDINA CABELLO, Francisco	fmedina@etseq.urv.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad Católica de Ávila	Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente	MÉNDEZ, Ana María	ana.mendez@ucavila.es	
Grupo Antolin Ingeniería S.A.	Investigación	MERINO, César	cesar.merino@grupoantolin.com	Nanomateriales Nanopartículas Nanotubos

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Universitat Autònoma de Barcelona	Departament de Química	MERKOCI, Arben	amerkoci@gsb.uab.es	
Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla - CSIC	Síntesis y Reactividad de Materiales	MIGUEZ GARCIA, Hernán	hernan@icmse.csic.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanofotónica
Universidad Autónoma de Madrid	Física de la Materia Condensada	MIRANDA SORIANO, Rodolfo	rodolfo.miranda@uam.es	
Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Gipuzkoa (CEIT)	Departamento de Materiales	MOLINA ALDAREGUIA, Jon Mikel	jmolina@ceit.es	Nanomateriales Nanofabricación Nanomodelización
Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea	Ingeniería Química y del Medio Ambiente	MONDRAGON, Iñaki	inaki.mondragon@ehu.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanofabricación
Facultad de Química de San Sebastián, Universidad del País Vasco	Química Aplicada	MONTES RAMIREZ, Mario	mario.montes@ehu.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanofabricación
Ministerio de Defensa - Dirección General de Armamento y Material	Departamento de Investigación	MONTOJO SUPERVIELLE, M <sup>a</sup> Teresa	mtmontojos@oc.mde.es	Nanofabricación Nanofotónica Dirección de Proyectos
Ramem S.A.		MONTOYA, Eladio	emontoya@ramem.com	
Universidad de Barcelona, Facultad de Física	Departamento de Electrónica	MORANTE LLEONART, Joan Ramon	morante@el.ub.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanofabricación
Facultad de Medicina - Universidad de Barcelona	Ciencias Fisiológicas - I	NAVAJAS, Daniel	dnavajas@ub.edu	Nanoquímica SPM Nanomedicina
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Teoría de la Materia Condensada, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid	NIETO-VESPERINAS, Manuel	mnieto@icmm.csic.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanofotónica
CIDETE	I+D INVESTIGACION	NORIEGA MOSQUERA, German	cidete@arrakis.es	Nanomateriales Dirección de Proyectos
Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona	Optoelectronic and surface properties of nanostructured materials	OCAL GARCIA, Carmen	carmen.ocal@icmab.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales SPM
Institute of Materials Sciences of Barcelona, Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Molecular and Supramolecular Materials	ORDEJON, Pablo	ordejon@icmab.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanotubos Nanomodelización

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Universitat Autònoma de Barcelona	Departamento de Ingeniería Electrónica	ORIOLES, Xavier	Xavier.Oriols@uab.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomagnetismo Espintrónica Nanomodelización
Universidad Complutense de Madrid	Química Física I	ORTEGA GOMEZ, Francisco	fortega@quim.ucm.es	Nanomateriales Nanopartículas
Universidad del País Vasco	Departamento de Física Aplicada I	ORTEGA, Enrique	ortega@sq.ehu.es	
Universidad de Málaga	Química Física - Facultad de Ciencias	OTERO FERNÁNDEZ DE MOLINA, Juan Carlos	jc_otero@uma.es	Nanoquímica SPM Nanofotónica
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Física de Materiales a Bajas Temperaturas	PALACIO PARADA, Fernando	palacio@unizar.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad de Alicante	Departamento de Física Aplicada	PALACIOS BURGOS, Juan José	jj.palacios@ua.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomagnetismo Espintrónica Nanomodelización
Asociación de Investigación de la Industria Textil	Projects Area	PASCUAL BERNABEU, Javier	jpascual@aitex.es	Nanomateriales Nanopartículas Dirección de Proyectos
Institut Català de Nanotecnologia (ICN)	Institut Català de Nanotecnologia	PASCUAL, Jordi	jordi.pascual@uab.es	Nanoquímica Nanoquímica Nanopartículas
Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona	Electronic Material and Crystal Growth	PASCUAL, José Ignacio	jipascual@icmab.es	
Centro de Investigación Cooperativa en Biomateriales	Biofunctional Nanomateriales Unit	PENADÉS ULLATE, Soledad	spenades@cicbiomagune.es	Nanoquímica Nanoquímica Nanopartículas
Facultad de Ciencias. Universidad de Córdoba	Química Analítica	PEREZ BENDITO, Dolores	qa1pebem@uco.es	Nanoquímica Nanoquímica Nanomateriales
Universidad Pública de Navarra	Física, Química, Ingeniería eléctrica y electrónica, Ciencias del medio natural, Automática	PEREZ CONDE, Jesus	perezco@unavarra.es	Nanoquímica Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales
Instituto de Agricultura Sostenible	Mejora Genética Vegetal	PÉREZ DE LUQUE, Alejandro	bb2pelua@uco.es	Nanoquímica Nanopartículas
Facultad de Farmacia - Universidad de Barcelona	Sist Supramoleculares para Apli Biológicas	PEREZ GARCIA, M <sup>a</sup> Lluïsa	mlperez@ub.edu	Nanoquímica Nanoquímica Nanomedicina

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats	Institute of Chemical Research of Catalonia	PEREZ RAMIREZ, Javier	jperez@iciq.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Inst de Microelectrónica de Barcelona. CSIC	Micro y Nano Sistemas, Instituto de Microelectrónica de Barcelona.	PEREZ- MURANO, Francesc	Francesc.Perez@cnm.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular SPM Nanotubos
Facultad de Ciencias- Universidad de Málaga	Química Orgánica	PEREZ-INESTROSA, Ezequiel	inestrosa@uma.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanofotónica
Facultad de Ciencias Físicas -Universidad Complutense de Madrid	Física de Materiales	PIQUERAS DE NORIEGA, Javier	piqueras@fis.ucm.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanofabricación
CIC nanoGUNE Consolider		PITARKE, Jose M <sup>a</sup>	jm.pitarke@nanogune.eu	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales Dirección de Proyectos
Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid-Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid	PLATERO COELLO, Gloria	gloria.platero@icmm.csic.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomagnetismo Espintrónica Nanomodelización
Labein-Tecnalia. Fundación Labein		PORRO GUTIERREZ, Antonio	aporro@labein.es	Nanomateriales Nanomodelización Dirección de Proyectos
Nanotecnología Spain S. L.	NTC	PRATS, Adam	adam@ntc-spain.com	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Centro Español de Metrología	Área de Longitud	PRIETO ESTEBAN, Emilio	eprieto@cem.mityc.es	SPM Nanometrología
Instituto de Microelectrónica de Madrid-Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Dispositivos, Sensores y Biosensores	QUINTANA, Carmen	carmen@imm.cnm.csic.es	
Facultad de Químicas	Química Inorganica I	RAMIREZ CASTELLANOS, Julio	jrcastel@quim.ucm.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Endor Nanotechnologies	R&D	RAMIS CASTELLTORT, Marc	marc.ramis@endornanotech.com	Nanoquímica Dirección de Proyectos Nanomedicina
Universidad de Málaga	Física Aplicada I /Facultad de Ciencias	RAMOS BARRADO, Jose R.	barrado@uma.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanometrología

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen	Departamento de Láser	RAMOS DE CAMPOS, Jose Antonio	jramos@aido.es	Nanofabricación Nanofotónica Dirección de Proyectos
Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona	Nanociencia Molecular y Materiales Organicos	RATERA, Imma	iratera@icmab.es	Nanoquímica Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales
Fundacion Fitsa	Fundacion Fitsa	RAZAZI, Donia	d.razazi@fundacionfitsa.org	Dirección de Proyectos
Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad politecnica de	Instituto de Tecnología Química	REY GARCIA, Fernando	frey@itq.upv.es	Nanoquímica Nanomateriales
Facultad de Química - Universidad de Santiago de Compostela	Química Orgánica	RIGUERA VEGA, Ricardo	ricardo@usc.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanomedicina
Facultat de Física - Universidad de Barcelona	Física Fonamental	RITORT, Felix	ritort@ffn.ub.es	Nanoquímica SPM Nanomodelización
Universidad de Santiago de Compostela	Física Aplicada, Facultad de Física	RIVAS REY, Jose	farivas@usc.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad de Castilla-La Mancha	Física Aplicada	RIVEIRO CORONA, José Manuel	Manuel.Riveiro@uclm.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad de La Laguna	Física Fundamental y Experimental, Electrónica y Sistemas/ Física Básica	RODRIGUEZ ARMAS, Vicente D.	vrguez@ull.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanofotónica
Universidad de Valladolid	Física Materia condensada/ Química Orgánica/ Química Analítica/ Bioquímica y Biología Molecular	RODRIGUEZ CABELLO, Jose Carlos	roca@bioforge.uva.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanomedicina
Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla		RODRIGUEZ GONZALEZ-ELIPE, Agustín	arge@icmse.csic.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanofotónica
University of Basque Country / Laboratory of Chemical Industrial and Electrochemical Engineering	Ingeniería Química y del Medio Ambiente, Escuela Universitaria Politécnica	RODRIGUEZ PIERNA, Angel	iapropia@sp.ehu.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanofabricación

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Instituto de Catalisis y Petroleoquímica	RODRIGUEZ RAMOS, Inmaculada	irodriguez@icp.csic.es	Nanoquímica Nanopartículas Nanotubos
Asociación de la Industria Navarra	Centro de Ingeniería Avanzada de Superficies I+D	RODRÍGUEZ, Rafael	rrodriguez@ain.es	Nanomateriales Nanotubos Dirección de Proyectos
Facultad de Físicas de la Universidad Complutense de Madrid	Física de Materiales	ROJO ALAMINOS, Juan	jmrojo@fis.ucm.es	
Universidad Politécnica de Valencia		ROS LIS, Jose Vicente	ciqma@upv.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Escuela Politécnica Superior - Universitat de Girona	Departamento de Física	ROURA GRABULOSA, Pere	pere.roura@udg.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanotubos
Facultad de Químicas (Edificio Korta) - Universidad del País Vasco	Física de Materiales	RUBIO SECADES, Angel	angel.rubio@ehu.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales Nanotubos
Universidad de La Laguna	Física Fundamental II	RUIZ PEREZ, Catalina	caruiz@ull.es	Nanoquímica Nanomateriales
Ministerio de Ciencia y Tecnología. Consejo Superior de Investigaiones Científicas	Materials Science Institute of Madrid,	RUIZ-HITZKY, Eduardo	eduardo@icmm.csic.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad Autónoma de Madrid	Física de la Materia Condensada, Facultad de Ciencias	SAENZ GUTIERREZ, Juan Jose	juanjo.saenz@uam.es	SPM Nanofotónica Nanomodelización
Univ. Pontificia Comillas de Madrid	Ingeniería Mecánica / Escuela Técnica Superior de Ingeniería	SÁENZ NUÑO Maria Ana	msaenz@upco.es	Nanometrología
Facultad de ciencias y Tecnología - Universidad del País Vasco	Física Aplicada II	SAIZ GARITAONANDIA, José Javier	garita@we.lc.ehu.es	Nanoquímica Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales
Barcelona Science Park / Universidad de Barcelona	Bioelectrónica y Nanobiociencia, Centro de Referencia en Bioingeniería de Cataluña	SAMITIER, Josep	samitier@el.ub.es	Nanoquímica SPM Nanofabricación

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Universidad de Castilla- La Mancha	Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática	SANCHEZ DE ROJAS, Jose Luis	jose Luis.sanchezrojas@uclm.es	
LABEIN/TECNALIA	NANOC	SANCHEZ DOLADO, Jorge	jsanchez@labein.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanomodelización
Instituto de Nanociencia de Aragon, Universidad de Zaragoza	Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente	SANTAMARIA, Jesus	Jesus.Santamaria@unizar.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanomedicina
TOLSA	Investigación y Desarrollo	SANTAREN ROMÉ, Julio	jsantaren@tolosa.com	Nanomateriales Nanopartículas
Universidad Miguel Hernández	Instituto de Biología Molecular y Celular	SANZ, Jesús M.	jmsanz@umh.es	Nanoquímica Nanomedicina
Universidad Miguel Hernández	Instituto de Bioingeniería	SASTRE SANTOS, Angela	asastre@umh.es	Nanoquímica Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales
ZF Biolabs		SELA ANDRES, Erika	esela@zfbiolabs.com	Nanoquímica Nanoquímica Nanomedicina
Universidad de A Coruña	Química Fundamental	SEÑARÍS RODRIGUEZ, María Antonia	tonasr@udc.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid	Teoría de la Materia Condensada, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid	SERENA DOMINGO, Pedro Amalio	pedro.serena@icmm.csic.es	Nanoquímica Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomodelización
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Materiales Particulados	SERNA PEREDA, Carlos J.	cjserna@icmm.csic.es	Nanoquímica Nanomagnetismo Espintrónica Nanopartículas
Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona (IIQAB)	Departamento de Tecnología de Tensioactivos	SOLANS, Conxita	csmqci@iiqab.csic.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad Complutense de Madrid / Facultad de Ciencias Físicas	Física de Materiales	SOLS, Fernando	f.sols@fis.ucm.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular
Instituto de Microelectronica de Madrid- CNM-CSIC	Dpto Dispositivos, Sensores y Biosensores	TAMAYO DE MIGUEL, Javier	jtamayo@imm.cnm.csic.es	Nanoquímica Nanofabricación Nanometrología



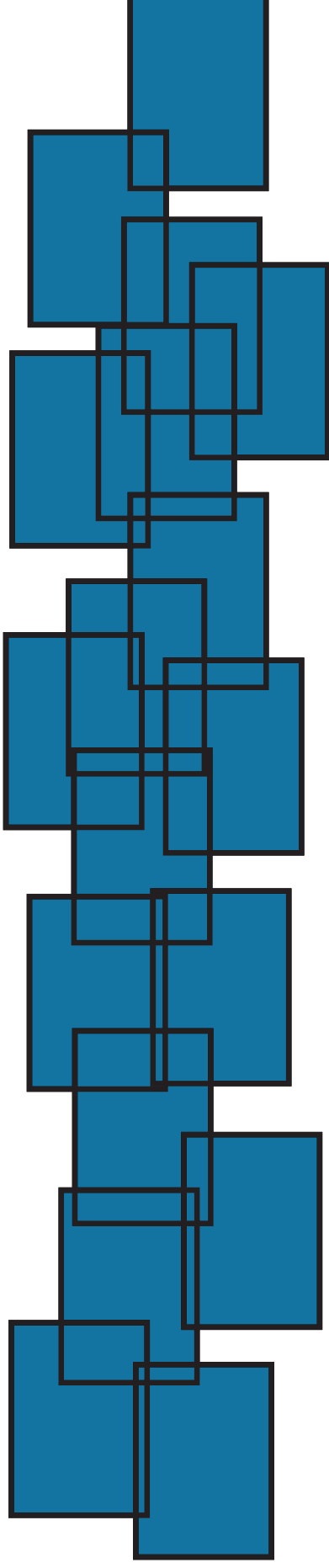
Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Universidad de Barcelona	Física Fonamental	TEJADA, Javier	jtejada@ffn.ub.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad Autónoma de Madrid	Física Teórica de la Materia Condensada, Facultad de Ciencias	TEJEDOR DE PAZ, Carlos	carlos.tejedor@uam.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanofotónica
Centre of Research in Nanoengineering	Chemical Engineering Department	TORRENT-BURGUES, Juan	juan.torrent@upc.edu	Nanoquímica Nanoquímica SPM
Universidad Autónoma de Madrid	Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias	TORRES, Tomas	tomas.torres@uam.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanotubos
UNIMETRIK, S.A.	Advanced Metrology	TRAPET, Eugen	info@unimetrik.es	
Universidad Politécnica de Cartagena	Dep. Electrónica	URBINA, Antonio	antonio.urbina@upct.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular SPM Nanotubos
Facultad de Ciencias - Universidad de Córdoba	Química Analítica	VALCARCEL CASES, Miguel	qa1meobj@uco.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanotubos
Escuela de Ingeniería Tec. Industrial	Ingeniería Química y del Medio Ambiente	VALEA PEREZ, Angel	iapvapea@lg.ehu.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanofabricación
Universidad de Barcelona	Química Física - Facultad de Química	VALLÉS GIMÉNEZ, Elisa	e.valles@ub.edu	Nanomateriales Nanopartículas
ICFO - Institut de Ciències Fotoniques	NanoPhotonics	VAN HULST, Niek	Niek.vanHulst@ICFO.es	Nanopartículas SPM Nanofotónica
Facultad de Ciencias experimentales	Área de Química Orgánica	VARGAS BERENGUEL, Antonio	avargas@ual.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid	Institute of Materials Science of Madrid, ICMM	VAZQUEZ VILLALABEITIA, Manuel	mvazquez@icmm.csic.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanofabricación
Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona-Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Departamento de Nanociencia Molecular y Materiales Orgánicos	VECIANA, Jaume	vecianaj@icmab.es	Nanoquímica Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales

Institución	Departamento	Persona de Contacto	e-mail	Áreas de trabajo
Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona	Materiales Moleculares y Supramoleculares	VEGA FERNANDEZ; Lourdes	lvega@icmab.es	Nanomateriales Nanopartículas Nanomodelización
Facultad de Ciencias- Universidad de Valladolid	Física Teórica, Atómica y Óptica-	VEGA HIERRO, Andrés	vega@phenix.fam.cie.uva.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanopartículas
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Teoría de Materia Condensada	VELASCO RODRIGUEZ, Victor R.	vrvr@icmm.csic.es	Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales Nanotubos
Universidad Autónoma de Madrid	Instituto Nicolás Cabrera	VELEZ, Marisela	Marisela.velez@uam.es	
ACTIVERY		VENTOSA, Carles	activery@activery.com	
Universidad Complutense de Madrid	Física de Materiales, facultad CC. Físicas	VICENT, Jose-Luis	jlvicent@fis.ucm.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanomateriales Nanofabricación
Universidad Autónoma de Madrid	Física de la Materia Condensada	VIEIRA DIAZ, Sebastian	sebastian.vieira@uam.es	Nanomagnetismo Espintrónica Nanopartículas SPM
Universidad Miguel Hernández	Instituto de Bioingeniería	VILANOVA GISBERT, Eugenio	evilanova@umh.es	Nanomedicina
Universidad del País Vasco	Departamento de Química Física	VILAS, Jose Luis	joseluis.vilas@ehu.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Fundación INASMET	Unidad de Tecnología	VIVIENTE, José Luis	jjviven@inasmet.es	Nanomateriales Nanotubos Dirección de Proyectos
NANOTEX		VON SCHILLER CALLE, Oliver	oschiller@solutex.es	Nanoquímica Nanomateriales Nanopartículas
Universidad Autónoma de Madrid	Química Inorgánica - Facultad de Ciencias	ZAMORA, Félix	felix.zamora@uam.es	Nanoquímica Nanoelectrónica Electrónica Molecular Nanomateriales



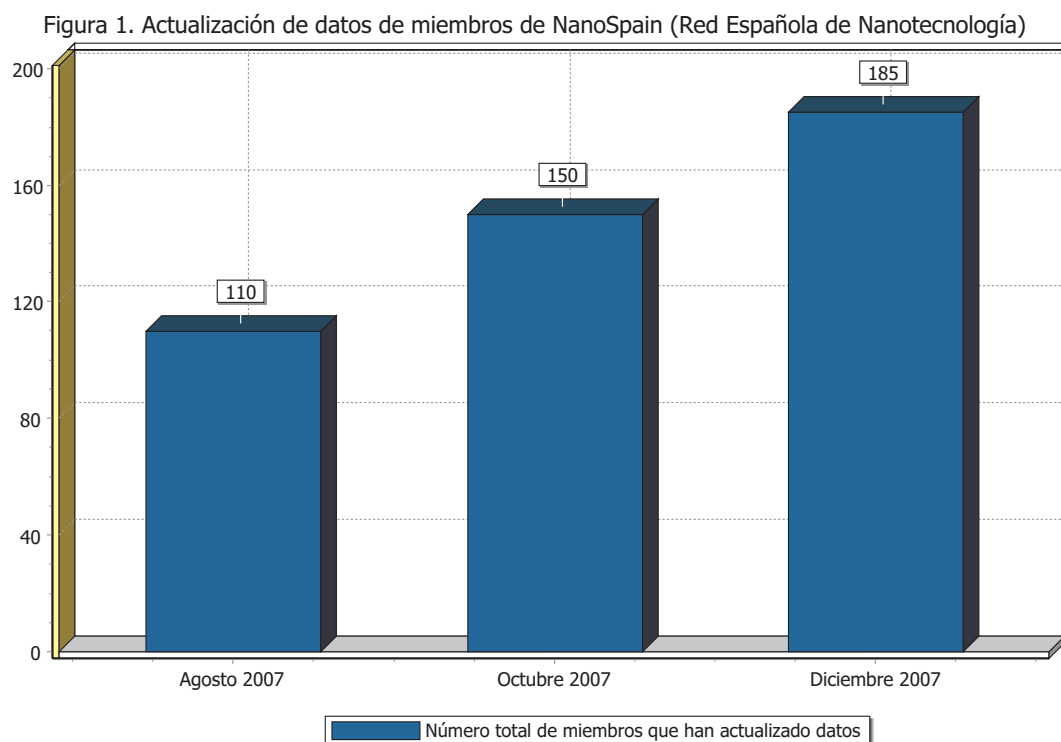
# ANEXO II

## FINANCIACIÓN DE ACTIVIDADES DE I +D

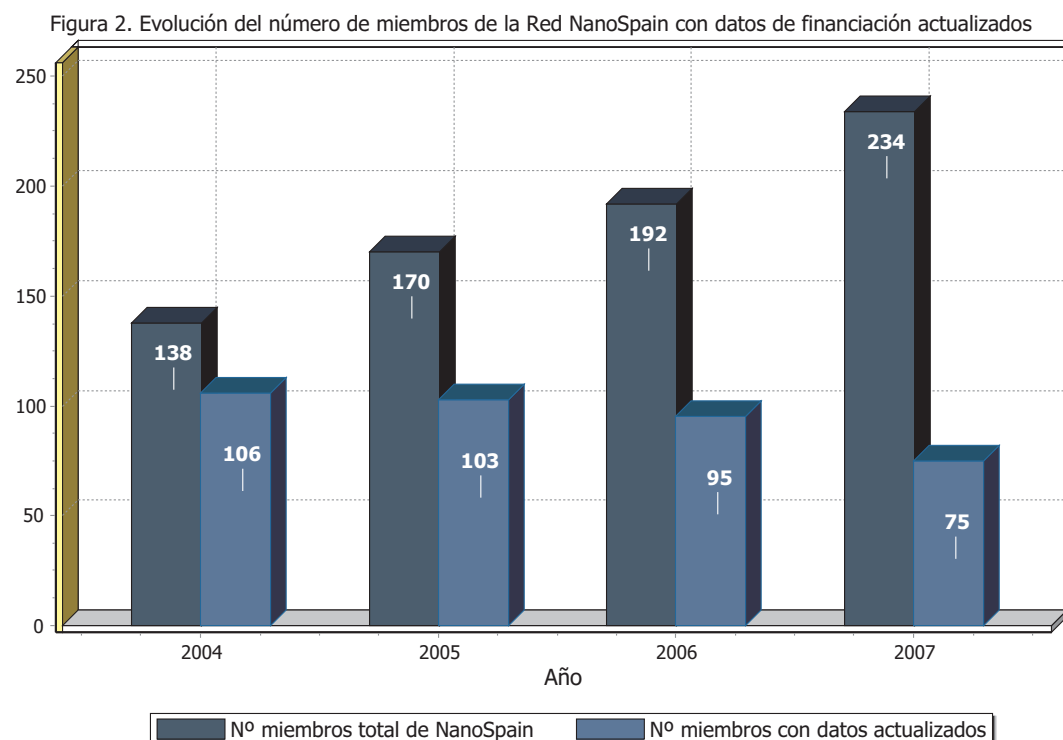




La financiación otorgada a la Fundación Phantoms (Acción complementaria NAN2006-26554 E y D) ha permitido el desarrollo de diferentes actividades, en particular la actualización de los datos de los miembros de la Red Nanospain (Figura 1).

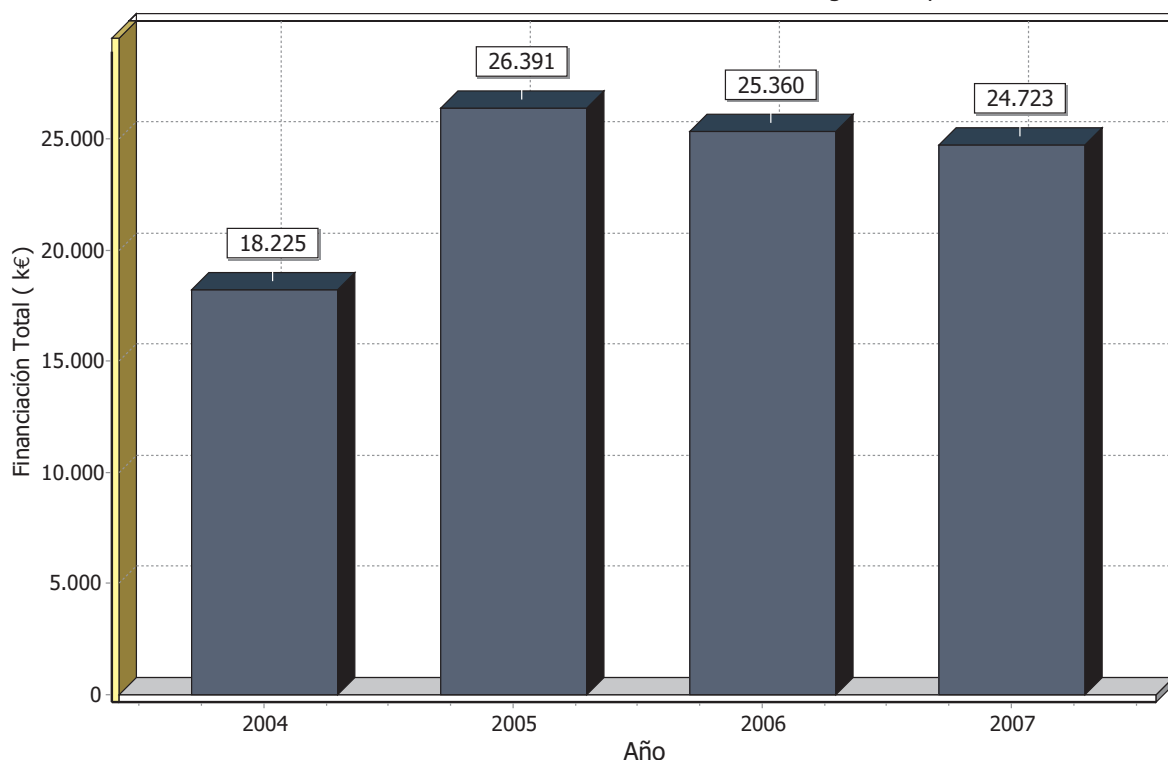


Basándonos en los datos proporcionados por los grupos que forman la red, es posible hacer un breve estudio sobre la situación de la financiación de las actividades de I+D en nanotecnología. Este estudio se resume en las gráficas mostradas en este Anexo. Antes de continuar hay que mencionar que no todos los grupos de la red han actualizado sus datos de financiación (Figura 2). Lo que puede inducir a error si se intentan hacer extrapolaciones al conjunto de los grupos. Sin embargo, sí que se pueden encontrar varios puntos que merecen nuestro comentario.



El primer punto que llama la atención está relacionado con la financiación total declarada por los grupos de investigación. En el periodo 2004-2007 los grupos que mantienen su información actualizada (Figura 3) han declarado que las subvenciones recibidas han alcanzado un total de 94,7 M€, lo que supone unos 23,7 M€/año. En concreto en el año 2004 un conjunto de 106 grupos de investigación obtuvieron 18,2 M€, de los cuales 8,1 M€ corresponden a las subvenciones de la Administración General del Estado y 3,4 M€ provienen de las comunidades autónomas. Estas dos cantidades, junto con otras correspondientes a otras acciones complementarias son la que figuran en el informe "Some Figures about Nanotechnology R&D in Europe and Beyond" publicado por la Comisión Europea en 2005, en las que se estima un total de 12,5 M€ de gasto público en Nanotecnología.

Figura 3. Datos disponibles en la base de datos de NANOSPAIN sobre financiación de actividades de I+D en Nanotecnología en España



La cantidad total del año 2007, mostrada en la Figura 3 seguramente sea algo más alejada de la cifra real debido a que el porcentaje de grupos de la red con datos actualizados ha decrecido<sup>1</sup>, lo que hace inviable proporcionar un valor absoluto.

Aunque es muy difícil efectuar un estudio de las cantidades totales, se puede llevar a cabo un análisis en base a cantidades normalizadas, esto es, usando como indicador de análisis la financiación promedio por grupo o la financiación promedio por investigador con el grado de doctor. Estos indicadores, con cierta cautela, pueden permitir hacer extrapolaciones a la totalidad de los grupos de la red. La evolución de los datos normalizados se muestra en la Figura 4, donde se observa un crecimiento continuo de la financiación promedio por grupo de investigación. Con los datos proporcionados por los miembros de la Red NanoSpain, se puede afirmar que la inversión promedio por grupo se ha duplicado en estos cuatro años. Las Figuras 5 y 6 del mismo Anexo revelan la distinta procedencia de los fondos, mostrando el papel

<sup>1</sup> Considerando que la actualización de los datos se hizo a lo largo del año 2007 (Figura 1), un gran porcentaje de los miembros de la Red no proporcionaron datos sobre la financiación recibida en dicho año.

fundamental de la Agencia General del Estado (AGE) en su papel de promotor de la Nanociencia y Nanotecnología en España, con casi el 50% de los recursos.

Figura 4. Evolución de la financiación media por grupo o por doctor

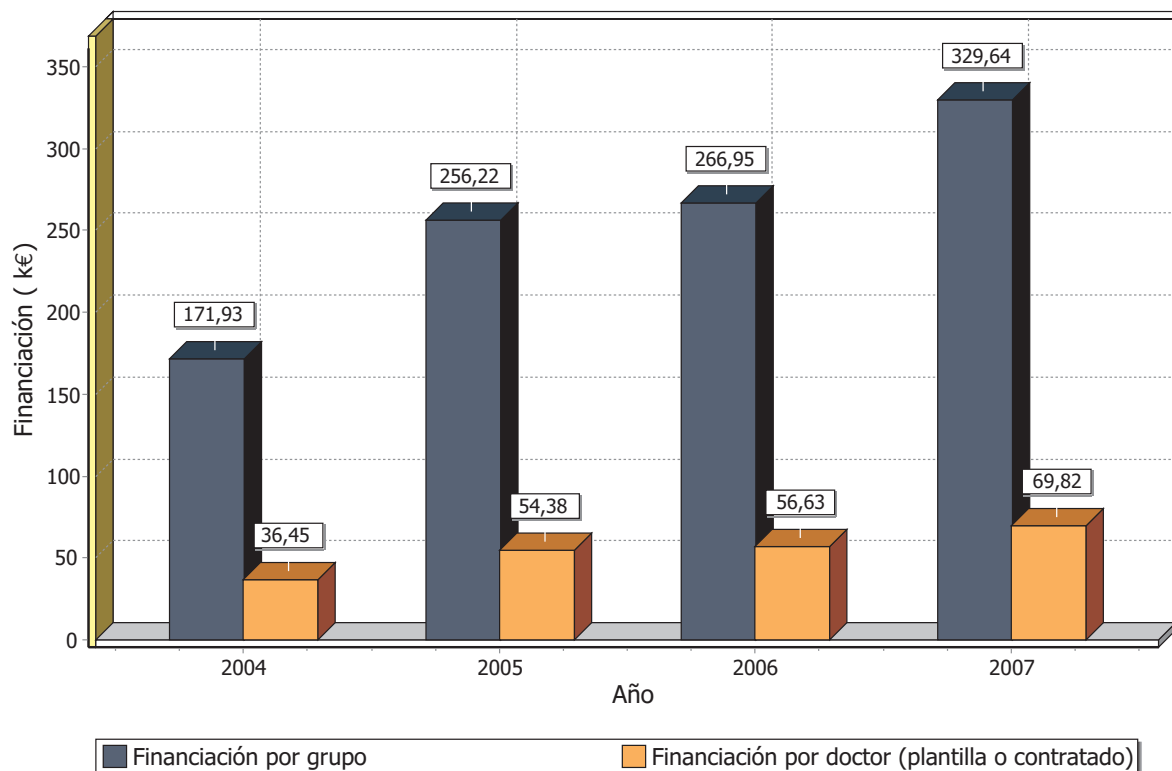


Figura 5. Evolución de la financiación media por grupo. Distribución de la financiación por origen de la misma.

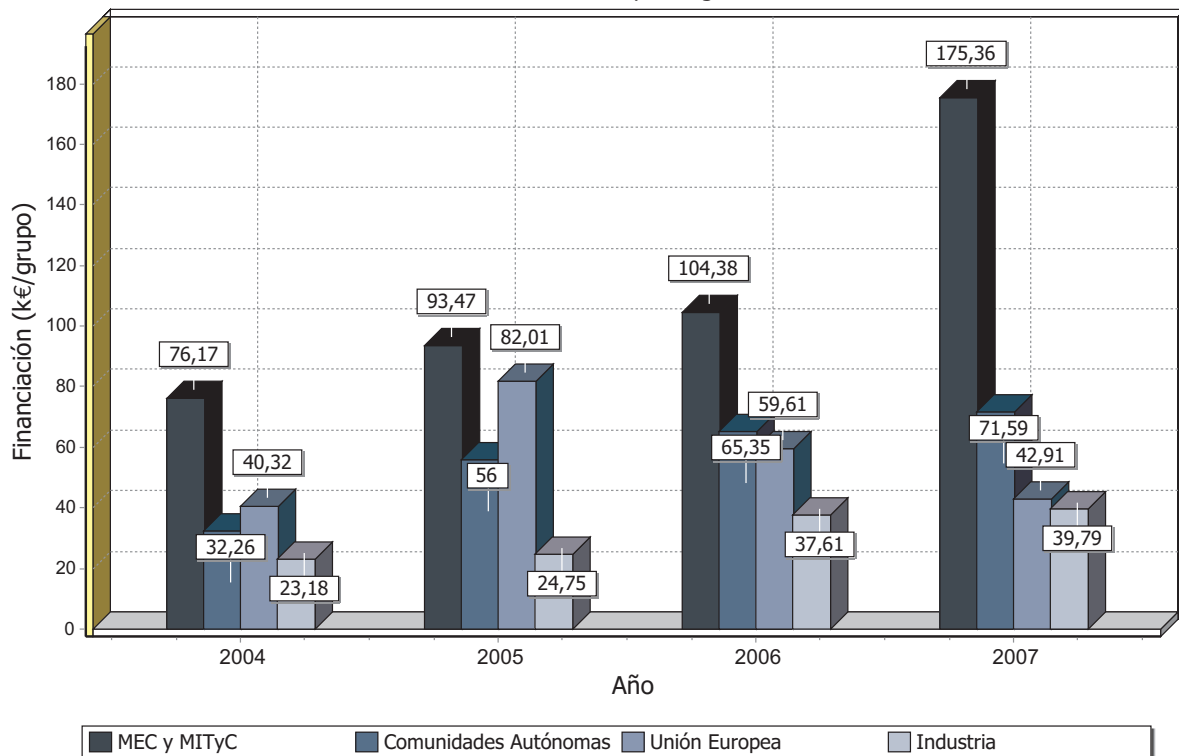
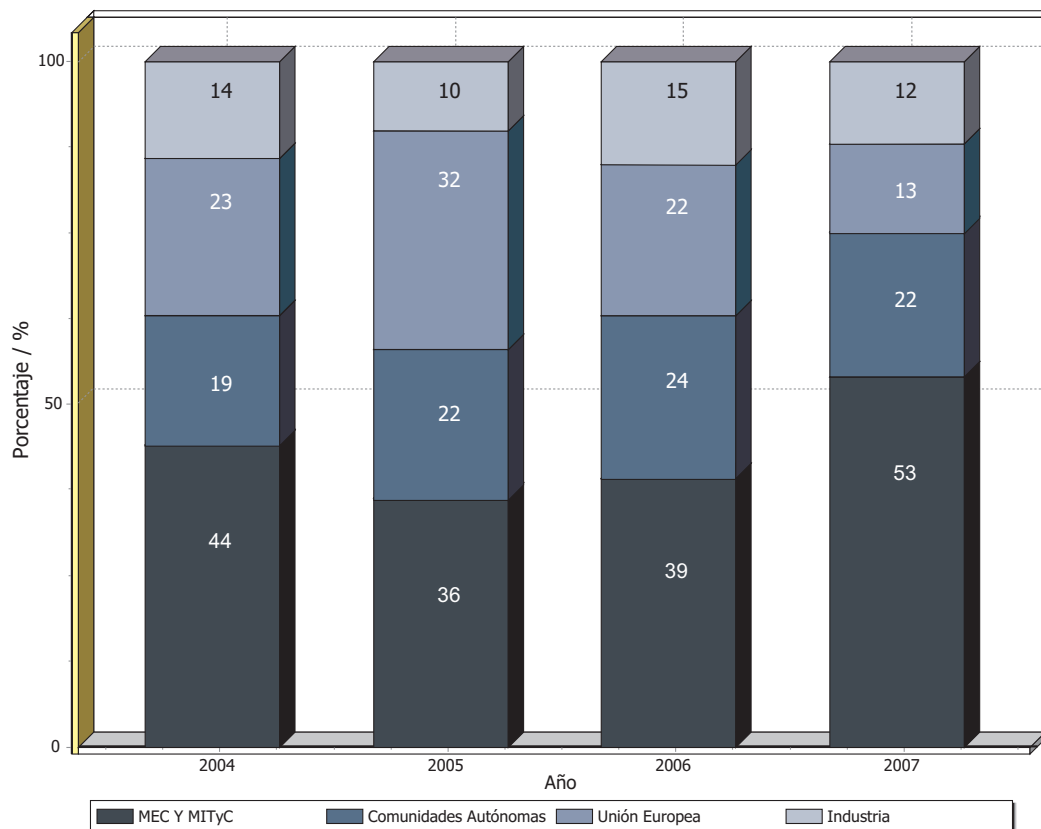


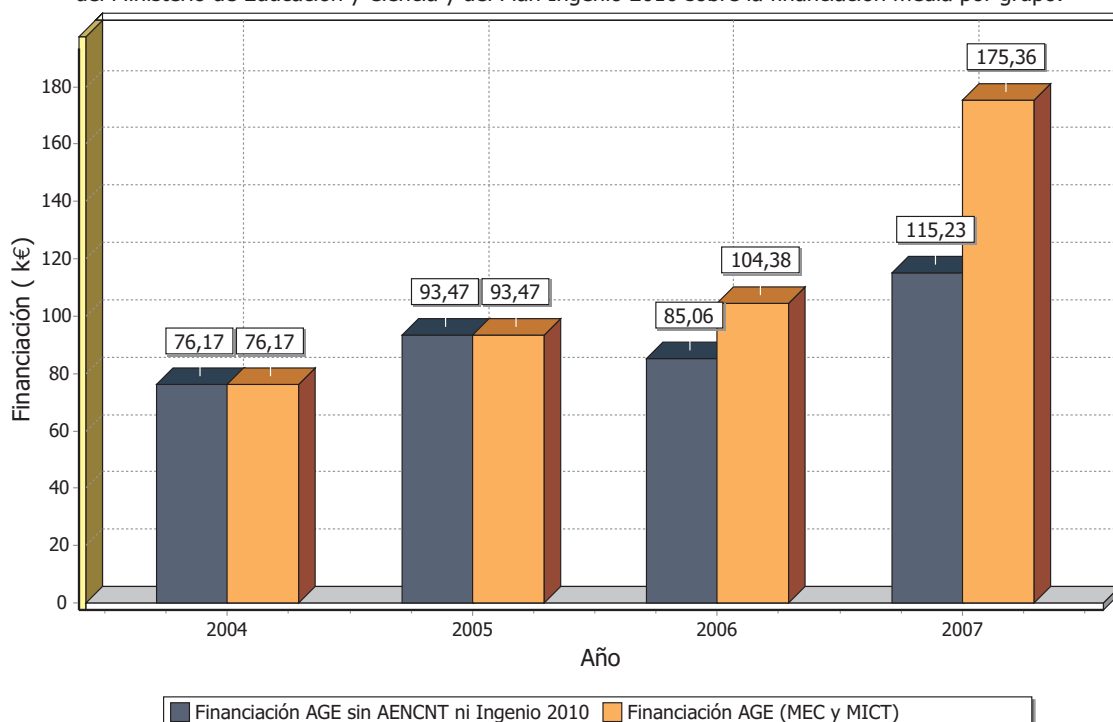


Figura 6: Evolución de la financiación media por grupo.  
Distribución porcentual por origen de la financiación.



Es muy importante mencionar que el crecimiento en la inversión de los proyectos de I+D+i por parte de la AGE se ha disparado en el año 2007. La razón de este aumento se puede comprender observando la Figura 7, en la que se pone de manifiesto que las responsables del mismo son las actuaciones encuadradas en la Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología (AENCNT) y las correspondientes al Plan Ingenio 2010 (destacando las provenientes de los Programas Consolidar y CENIT). Sería deseable poder mantener dicha tendencia el tiempo necesario para poder mejorar el número y la competitividad de los grupos españoles en el escenario internacional.

Figura 7. Estimación del efecto de la Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología del Ministerio de Educación y Ciencia y del Plan Ingenio 2010 sobre la financiación media por grupo.



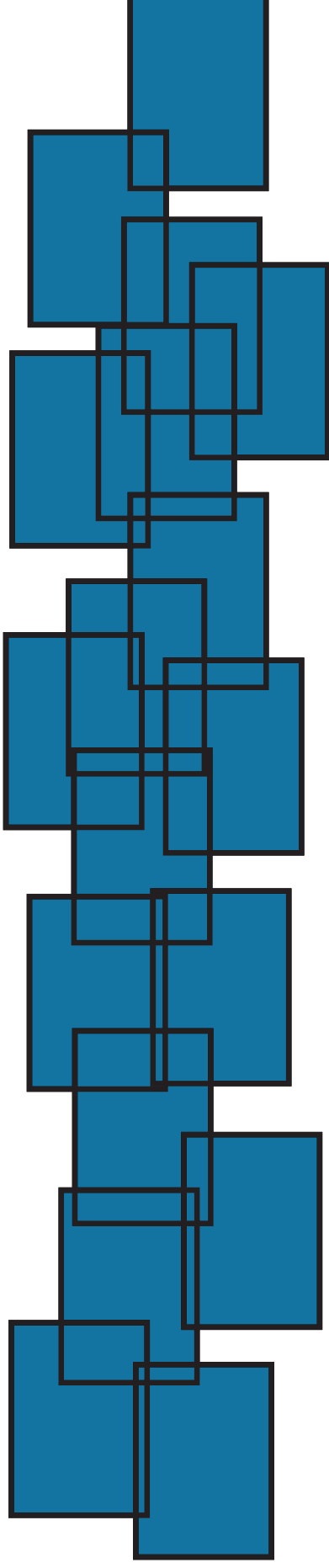
Finalmente, encontrar la respuesta a la pregunta “¿cuánto se invierte en España en las actividades de I+D dedicadas a promocionar la Nanociencia y la Nanotecnología?” es verdaderamente difícil. Una estimación fiable de la inversión en España en Nanotecnología es una incógnita debido a la existencia de múltiples agencias financiadoras (ministerios, consejerías, diversas fundaciones, etc.) y la ausencia de un organismo o agencia que centralice los datos. A las cantidades destinadas por la AGE, dentro los programas convencionales y de la AENCNT, hay que añadir las inversiones en proyectos Consolider, CENIT y CIBER (este último programa con posible financiación de actividades en nanomedicina y nanobiotecnología). A estas cantidades deberíamos añadir la financiación de las comunidades autónomas tanto en proyectos como en los centros de investigación (5 en plena construcción). Para finalizar, hay que tener en cuenta los recursos propios de empresas dedicados a Nanotecnología, otra verdadera incógnita. Aunque la respuesta sea difícil, basándonos en el estudio de la financiación de los miembros de la Red NanoSpain, que permite obtener una estadística basada en los destinatarios de las ayudas y equipamientos, una buena estimación está en torno a los 1,2 € por habitante y año, casi triplicando las cifras estimadas del año 2004. En cualquier caso, nos encontramos lejos de la media europea (UE-25) que actualmente está cercana a los 4€ por habitante y año.

En conclusión, el análisis estadístico sobre el conjunto de los miembros de la red NanoSpain puede permitir (como en este caso) establecer sólidas conclusiones en aquellas cuestiones o estudios de ámbito “nano”, sin los sesgos introducidos por los análisis hechos desde determinados organismos o agencias, que sólo generan y controlan una parte de la información, que poseen fruto de sus encuestas internas o de los análisis de resultados de sus convocatorias para financiar proyectos o infraestructuras.



# ANEXO III

CONGRESOS NANOSPAIN





Desde 2004 la Fundación Phantoms es el principal organizador, junto con otras instituciones españolas (y en colaboración con la Red Española de Nanotecnología del mismo nombre) del evento anual "NanoSpain" que permite a los grupos (e industrias) españoles tener un foro de encuentro.

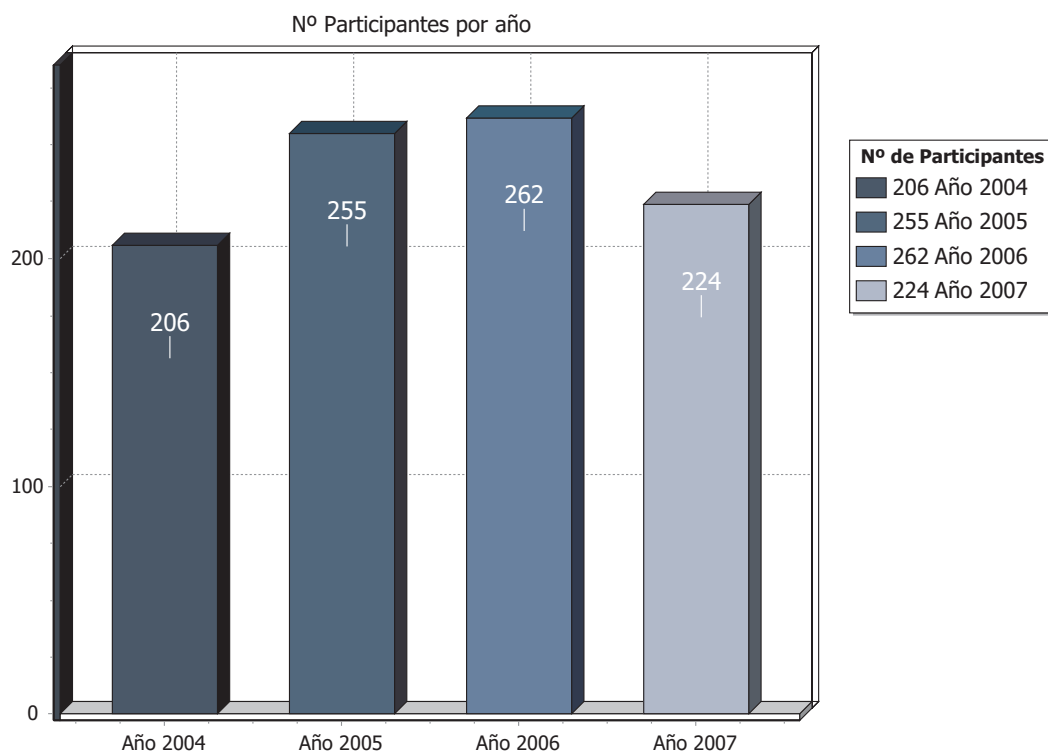
En 2008, España y Portugal (con sus redes respectivas NanoSpain y PortugalNano) han decidido unir esfuerzos para que el acontecimiento NanoSpain2008 (NanoIberian Conference) facilite la difusión de conocimiento y promueva discusiones interdisciplinarias no sólo en España, sino en un entorno más amplio, incluyendo los grupos del Sur de Europa. En este evento, por lo tanto, tres serán las redes encargadas de colaborar con la Fundación Phantoms:

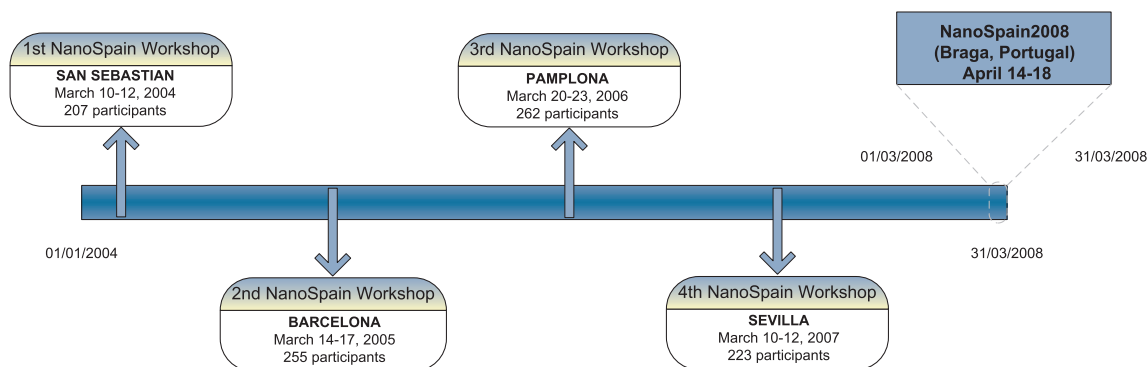
NanoSpain: <http://www.nanospain.org/nanospain.htm>

Portugalnano: <http://www.portugalnano.eu>

C´Nano Grand Sud Ouest: <http://www.cnanogso.org>

INSTITUCIÓN	Nº de participantes en el Comité Organizador	AÑO			
		04	05	06	07
Fundación Phantoms	4				
Donostia International Physics Center (DIPC)	4				
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	4				
Universidad Autónoma de Madrid	3				
Parc Científic de Barcelona	3				
Universidad Pública de Navarra	2				
CEM (Centro Español de Metrología)	2				
Sodena	1				
Universidad del País Vasco	1				
Universidad de Sevilla	1				
Universidad de Navarra	1				
<b>TOTAL INSTITUCIONES</b>		<b>4</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>8</b>



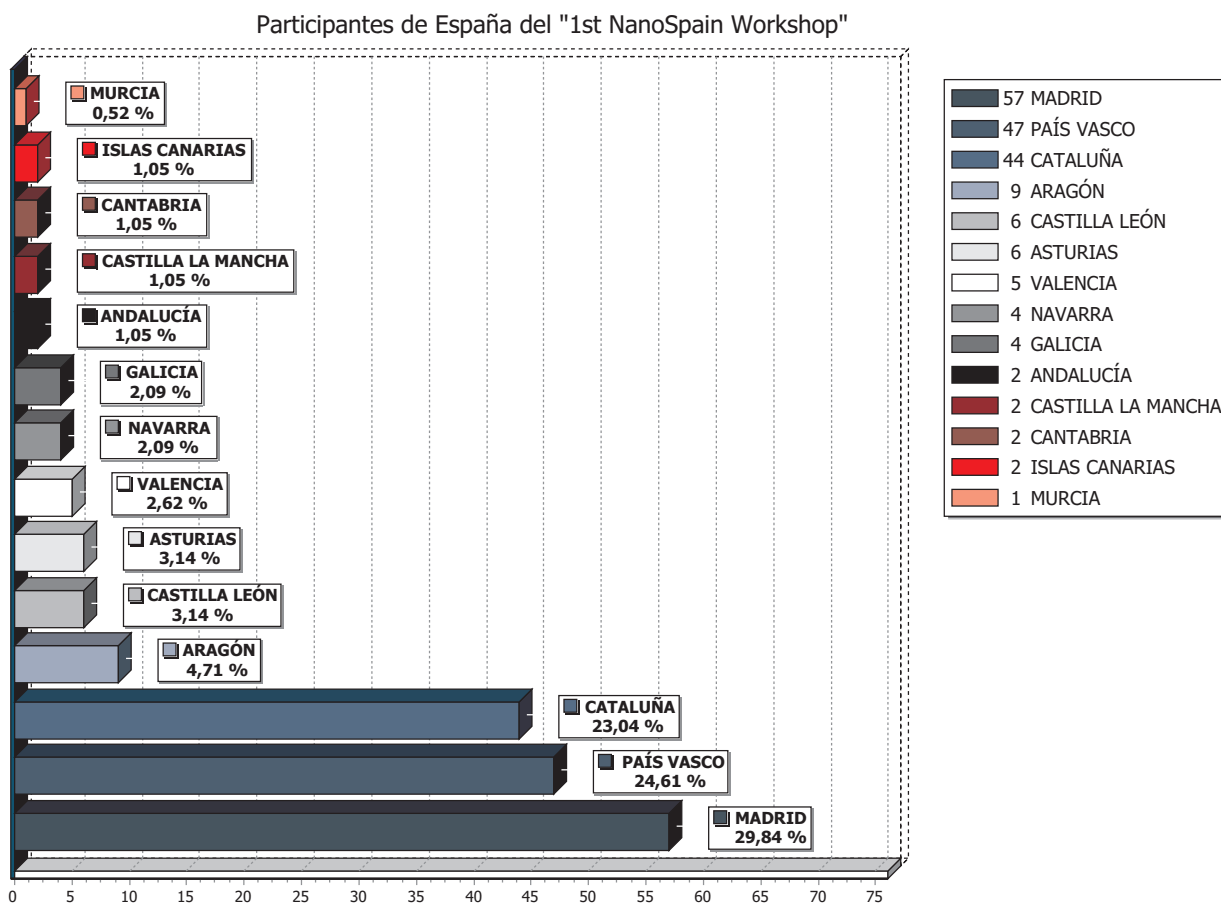


El "1st NanoSpain Workshop" se celebró en San Sebastián entre el 10 y el 12 de Marzo de 2004. El número de total de participantes fue de 206 personas, de las cuales 36 no pertenecían a la Red NanoSpain (17%).

La distribución según país de procedencia fue la siguiente:

PAÍS	Nº PARTICIPANTES
ESPAÑA	191
FRANCIA	4
SUIZA	2
REINO UNIDO	2
EE.UU.	2
BÉLGICA	2
ITALIA	1
AUSTRIA	1
JAPÓN	1

Los 191 participantes españoles se distribuyeron de la siguiente manera, según comunidad autónoma:



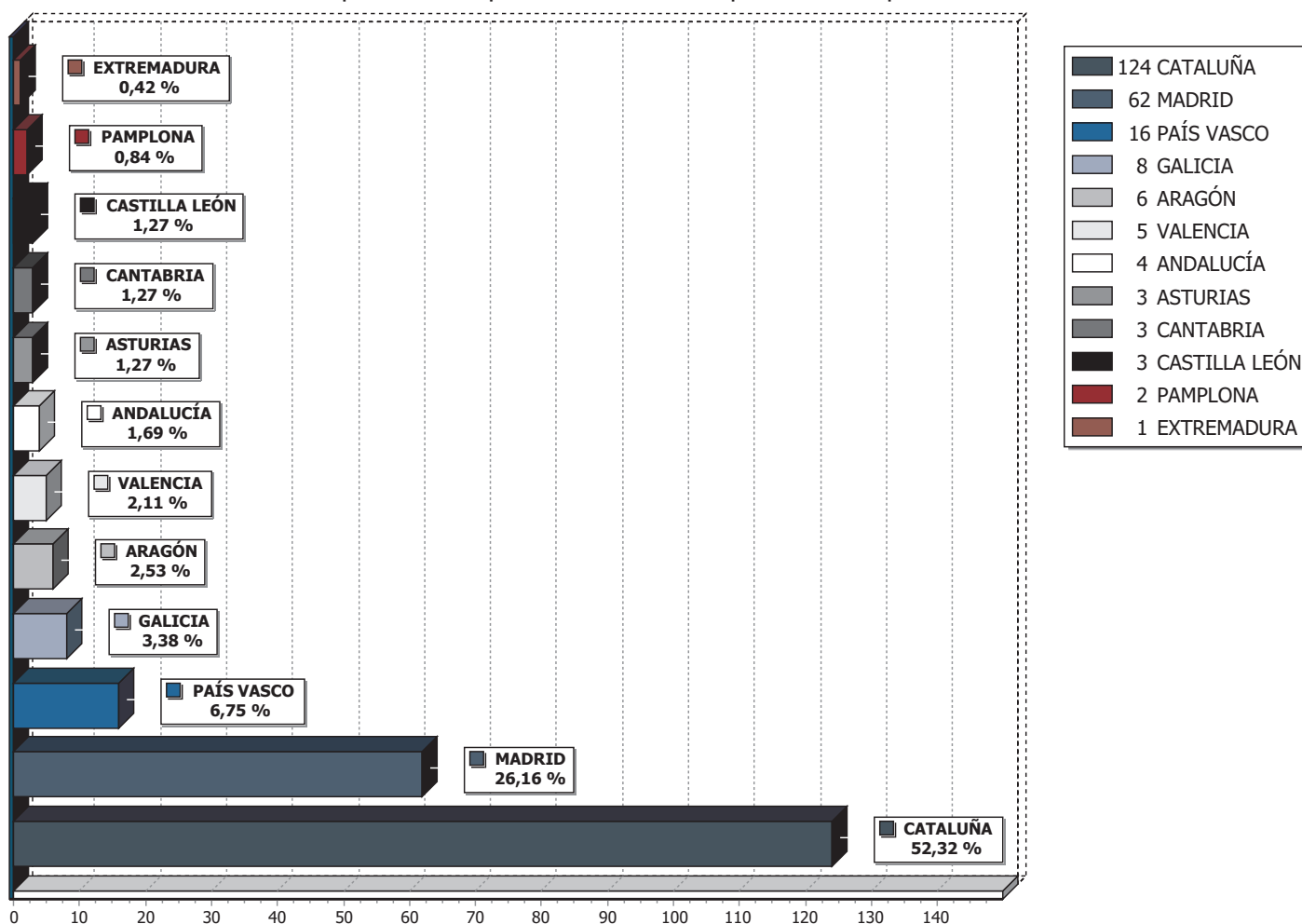
El "2nd NanoSpain Workshop" se celebró en Barcelona entre el 10 y el 14 de Marzo de 2005. El número total de participantes fue de 255 personas, de las cuales 70 no pertenecían a la Red NanoSpain (27%).

La distribución según país de procedencia fue la siguiente:

PAÍS	Nº PARTICIPANTES
ESPAÑA	237
FRANCIA	4
SUIZA	4
REINO UNIDO	3
EE.UU.	2
HOLANDA	1
ALEMANIA	1
BÉLGICA	1
SUECIA	1

Los 237 participantes españoles se distribuyeron de la siguiente manera, según comunidad autónoma:

Participantes de España del "2nd NanoSpain Workshop"



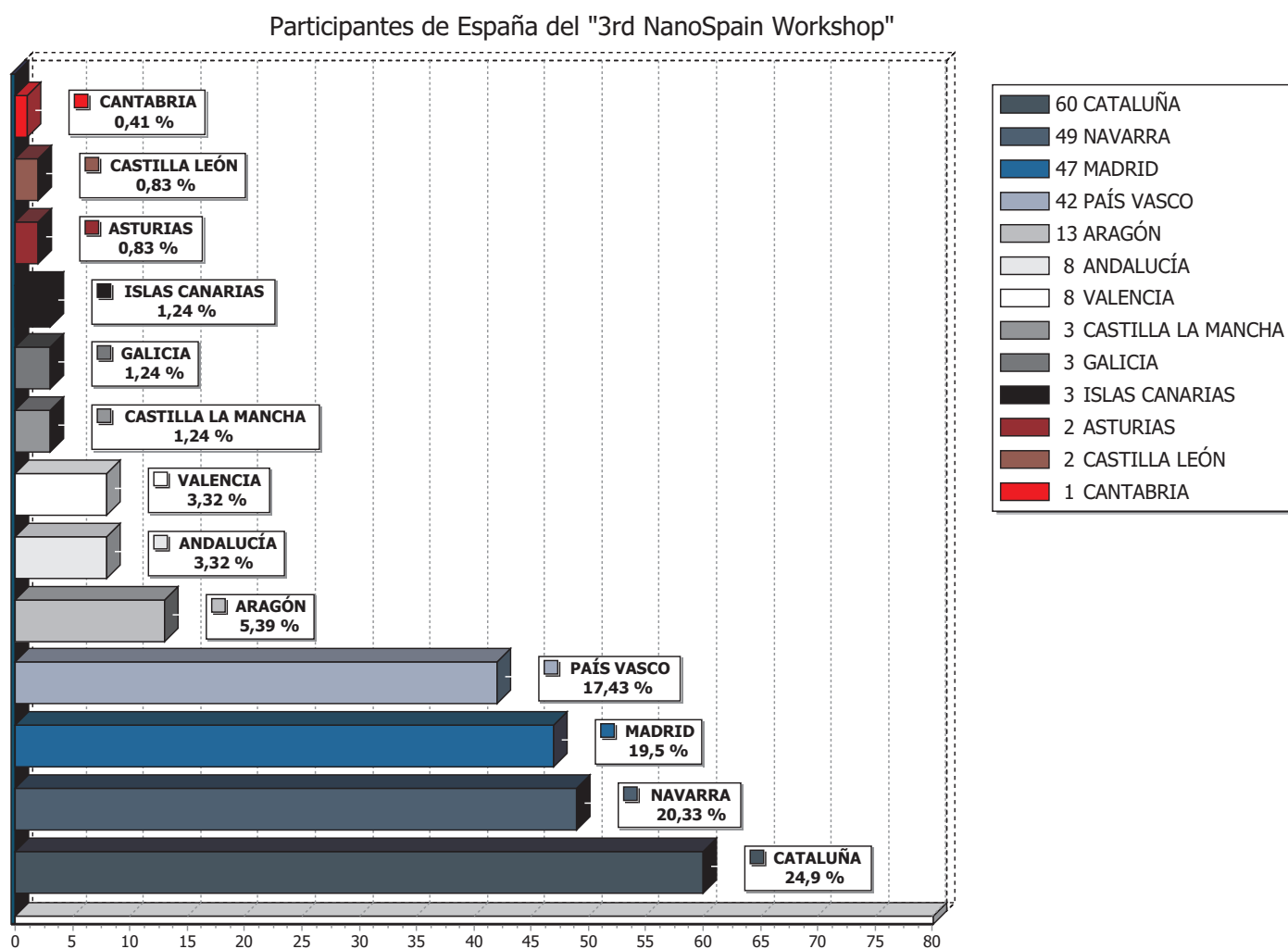


El "3rd NanoSpain Workshop" se celebró en Pamplona entre el 20 y el 23 de Marzo de 2006. El número total de participantes fue de 262 personas, de las cuales 60 no pertenecían a la Red NanoSpain (23%).

La distribución según país de procedencia es la siguiente:

PAÍS	Nº PARTICIPANTES
ESPAÑA	241
FRANCIA	6
REINO UNIDO	4
ALEMANIA	3
DINAMARCA	2
SUIZA	2
EE.UU.	1
ITALIA	1
BÉLGICA	1
SUECIA	1

Los 241 participantes españoles se distribuyeron de la siguiente manera, según comunidad autónoma:



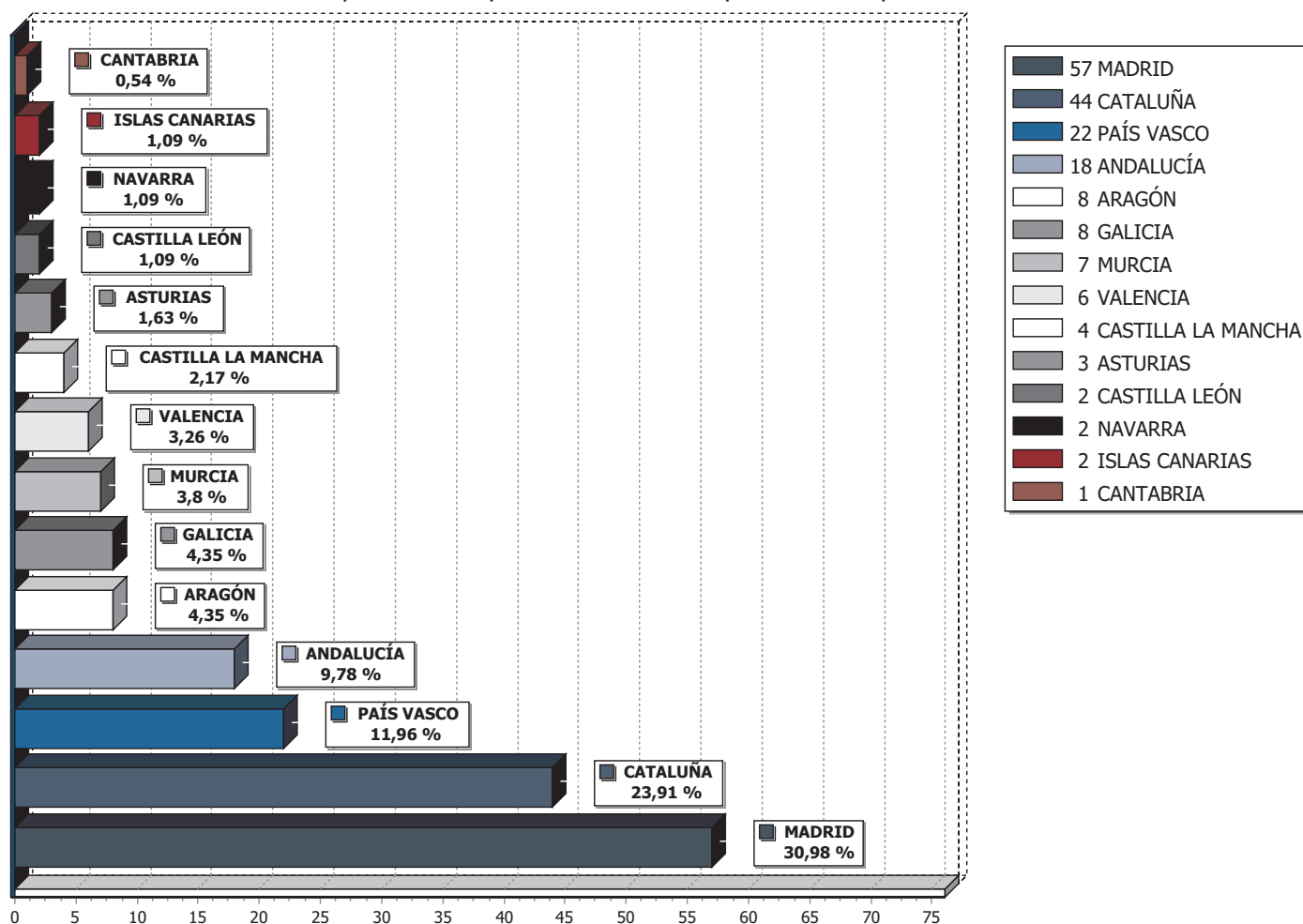
El "4th NanoSpain Workshop", Sevilla del 10 al 12 de Marzo de 2007. El número total de participantes fue de 224 personas, de las cuales 71 no pertenecían a la Red NanoSpain (32%).

La distribución según país de procedencia es la siguiente:

PAÍS	Nº PARTICIPANTES
ESPAÑA	184
PORTUGAL	22
ALEMANIA	5
FRANCIA	4
ITALIA	3
HOLANDA	2
EE.UU.	1
IRLANDA	1
SUIZA	1
MÉXICO	1

Los 184 participantes españoles se distribuyeron de la siguiente manera, según comunidad autónoma:

Participantes de España del "4th NanoSpain Workshop"











Financiado por



En colaboración con



Red Española de Nanotecnología  
Spanish Nanotechnology Network

Coordinado y editado por

