

INFORME⁽¹⁾ SOBRE LA SITUACIÓN DE LA NANOCIENCIA Y DE LA NANOTECNOLOGIA EN ESPAÑA Y PROPUESTA DE ACCION ESTRATEGICA DENTRO DEL PLAN NACIONAL DE I+D+I (2004-2007)

RED ESPAÑOLA DE NANOTECNOLOGIA (NANOSPAIN)



Resumen:

El objetivo de este informe es hacer llegar a las autoridades competentes del Ministerio de Ciencia y Tecnología una descripción de la situación actual de la investigación en Nanociencias y Nanotecnología en nuestro país, y proponer acciones específicas para el fomento de esta línea dentro del Plan Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación 2004-2007. Este informe ha sido redactado por los Coordinadores y el Comité Científico de la Red NanoSpain tras la reunión celebrada el día 6 de junio de 2003. La elaboración de este informe se enmarca dentro de las actividades de la Acción Especial MAT2001-5411-E financiada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCyT).

De forma excepcional, lo que serían las conclusiones de este informe aparecen en la primera sección del documento, en forma de una serie de propuestas para apoyar una **Acción Estratégica en Nanotecnología dentro del Plan Nacional de I+D+I 2004-2007**.

Indice de este informe:

1. ACCIONES ESPECÍFICAS PROPUESTAS POR NANOSPAIN AL MCYT PARA APOYAR LA PROPUESTA DE ACCION ESTRATÉGICA EN NANOTECNOLOGIA DENTRO DEL NUEVO PLAN NACIONAL DE I+D+I (2004-2007).

2. Nanociencia y Nanotecnología en España y el mundo.

- 2.1. La Nanociencia y Nanotecnología: motores de la siguiente revolución industrial.**
- 2.2. Perspectivas tecnológicas e implicaciones sociales de la Nanotecnología.**
- 2.3. Una breve descripción de la Nanotecnología en el mundo.**
- 2.4. Nanociencia y Nanotecnología en España.**
- 2.5 Bibliografía.**

3. La Red Española de Nanotecnología (NANOSPAIN)

3.1. Descripción y objetivos de NanoSpain

3.2. Indicadores de la Red NanoSpain.

- 3.2.1. Distribución de miembros por sector de procedencia (Industria, Centro Tecnológico, Administración y Universidades)**
- 3.2.2. Distribución de miembros de NanoSpain por procedencia geográfica.**
- 3.2.3. Distribución de miembros de NanoSpain por líneas de investigación.**
- 3.2.4. Distribución de miembros de NanoSpain por sublíneas de investigación.**

ANEXO I. Informes sobre temas específicos de investigación relacionados con la Nanotecnología.

NanoSpain

(1) Redactado por los coordinadores y miembros del Comité Científico de la Red

1. PROPUESTA DE ACCION ESTRATÉGICA EN NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGIA DENTRO DEL NUEVO PLAN NACIONAL DE I+D+I (2004-2007).

En el documento denominado “Propuesta de objetivos estratégicos y estructura general del Plan Nacional de I+D+I (2004-2007)” la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología describe los objetivos, elementos básicos de la estructura, y las áreas prioritarias del Plan Nacional (PN) que estará en vigor durante el periodo 2004-2007. En este documento se definen las Acciones Estratégicas como una agrupación de actividades de I+D+I estrechamente coordinadas entre sí para alcanzar objetivos comunes bien definidos a corto plazo. Las acciones estratégicas deben definir los objetivos concretos que se quieren alcanzar y las tareas concretas que deben realizarse para ello. Una Acción Estratégica requiere una gran agilidad en su gestión, y además requiere la cooperación de todos los agentes participantes de forma que se implique a todos los actores en la consecución de los objetivos que se planteen.

En esta Sección se plantea **la necesidad de definir una Acción Estratégica en Nanociencias y Nanotecnología**. En la Sección 2 de este documento se describe lo que se entiende por Nanociencia y Nanotecnología, y el papel que juegan en el desarrollo científico-tecnológico mundial de las próximas décadas, incluyendo el previsible impacto social de estas ramas del saber. La sección 3 presenta la actividad de la Red NanoSpain y pretende ilustrar el gran potencial en Nanociencia y Nanotecnología que existe en España. Sin embargo dicho potencial debe ser desarrollado de manera que podamos competir en el Espacio Europeo de Investigación: ese es el objetivo inmediato de una Acción Estratégica en Nanotecnología.

1.1 Propuestas concretas de actuación.

En los últimos años se han ido creando numerosos grupos de excelencia en Nanociencia y Nanotecnología que, sin embargo, por lo general tienen una masa crítica reducida. El retraso en las actuaciones públicas con relación a la Nanociencia y Nanotecnología durante los últimos años en nuestro país ha provocado una serie de dificultades a la comunidad científica que complican su capacidad de competir internacionalmente, en particular, las posibilidades de alcanzar posiciones prominentes en los programas europeos correspondientes.

Por ello proponemos algunas actuaciones, no factibles si no existiera la Acción Estratégica y relativamente modestas, que deberían ser gestionadas por un Comité de Gestión *ad hoc* que desde la Oficina Técnica de la Acción asegure el seguimiento y la eficacia de la Acción Estratégica. Asimismo proponemos crear un Comité Científico que establezca las directrices y realice el seguimiento de la Acción.

La Acción Estratégica propone la agrupación de actividades con objetivos comunes:

I) Coordinación de las actividades, infraestructuras y equipamientos de los Centros de Nanociencia y Nanotecnología que se han creado o se van a crear en diversas zonas del país, evitando duplicidades innecesarias.

II) **Financiación de Institutos “virtuales” de excelencia** (certificada por la ANEP) durante la duración del Plan Nacional. Este programa estaría esencialmente destinado a contratar investigadores pre y postdoctorales e investigadores seniors (estancias sabáticas), así como apoyar las actividades comunes. Los Institutos “virtuales” se constituirán en torno a un macroproyecto bien definido, como por ejemplo Nanomateriales Moleculares, Nanomagnetismo o Electrónica Molecular y podrán actuar como nodos españoles de posibles redes europeas.

III) **Programa de financiación de infraestructuras** en Centros, Institutos y grupos de Nanociencia. Se podría concretar en convocatorias anuales específicas para financiar equipos y desarrollar plataformas tecnológicas necesarias para que los Institutos y Centros de Nanociencia y Nanotecnología puedan competir internacionalmente en este terreno. El objetivo concreto es la disponibilidad de equipos destinados a:

III.1) Preparación y fabricación de Nanosistemas

III.2) Técnicas de caracterización de nanoestructuras y desarrollo de instrumentación

III.3) Técnicas de modelización y simulación de nanoestructuras

En la Tabla I (ver más abajo) se describe un listado parcial de aquellos equipos que son susceptibles de adquirirse coordinadamente dentro de la Acción Estratégica.

IV) **Programa de Contratación temporal de técnicos** para los servicios comunes y laboratorios, mantenimiento informático, y de técnicos de gestión para la red de los Centros de Nanociencia o apoyar la solicitud y posterior gestión de proyectos europeos.

V) **Proyectos coordinados interáreas** (Física, Química, Informática, Materiales, Ciencias de la Vida, Ingeniería, etc) con aplicaciones específicas.

VI) **Proyectos de consolidación** destinados a fortalecer grupos emergentes de investigación formados en el área de la Nanociencia y Nanotecnología.

VII) **Colaboraciones en programas o proyectos conjuntos con la industria** (en especial PYMEs en sectores tales como Tecnología de Comunicaciones, Automoción, Ingeniería de Precisión, Sistemas micro-electro-óptico-mecánicos, Tecnología Aeroespacial, Tecnología Médica y Farmacéutica). Impulso a la creación de *spin-offs* de base nanotecnológica.

VIII) Divulgación de las actividades en Nanociencia y Nanotecnología. Promover la visibilidad y difusión de la Nanotecnología a nivel empresarial y social. **Generar materiales divulgativos** sobre la Nanociencias y Nanotecnología dirigidos a alumnado y profesorado de Educación Secundaria y Universitaria.

TABLA I: Infraestructuras que se completarían, coordinarían y mantendrían operativas mediante la Acción Estratégica en Nanotecnología.
A. Infraestructuras para la preparación y fabricación de Nanosistemas, nanodispositivos, etc.
A.1. Nanolitografía (electron beam + ion beam milling, SPM, etc) incluyendo litografía UV óptica convencional y medios de pulido, corte, encapsulación y contactos en sala blanca.
A.2. Sistemas de crecimiento sobre superficies por diversas técnicas (Sputtering DC y RF, Molecular Beam Epitaxy (MBE), Chemical Vapor Deposition, Laser Ablation o Pulsed Laser Deposition (PLD))
A.3. Técnicas blandas de nanofabricación como nanoimprinting, litografía en polímeros, etc
A.4. Técnicas de vía húmeda (biotecnología, surfactantes, electroquímica, etc), técnicas de auto-ensamblado y auto-organización y películas tipo Langmuir-Blodgett.
A.5. Sistemas de nanofabricación por bombardeo de iones focalizados (FIB).
A.6. Micromanipuladores.
B. Técnicas de caracterización de nanoestructuras y desarrollo de instrumentación
B.1. Sistemas de caracterización nanométrica de AFM-STM, incluyendo en condiciones especiales (bajas temperaturas, bajos/altos campos magnéticos, en ultra-alto vacío, a alta presión, etc).
B.2. Métodos metrológicamente validados.
B.3. Técnicas de microanálisis de nanoestructuras (XPS, AES, ion scattering).
B.4. Microscopía electrónica de alta resolución con técnicas de análisis asociadas.
B.5. Manipuladores robotizados para estudios combinatoriales de nanopartículas y nuevas moléculas.
B.6. Sistemas de caracterización en un amplio rango de longitudes de ondas (microondas, visible).
B.7. Sistemas de caracterización específicos (microSquid, resonancia ferromagnética).
C. Técnicas de modelización y simulación de nanoestructuras
C.1. Adquisición de sistemas de cálculo con enlace de alta velocidad interna que permita la paralelización de códigos <i>ab-initio</i> , etc. Puestos de trabajo con altas prestaciones de representación gráfica.
C.2. Mejora de centros de computación actuales para simulación de nanoestructuras complejas.

2. Situación de la Nanociencia y Nanotecnología en España y el mundo.

2.1. La Nanociencia y Nanotecnología: motores de la siguiente revolución industrial.

Durante la última década se ha asistido al inicio de una revolución científica que está basada en la capacidad de medir, manipular y organizar la materia en la escala del nanómetro. Esto significa poder trabajar con objetos de un tamaño comprendido entre 1 y 100 diámetros atómicos. En esta escala, la física, la química, la ciencia de materiales, la simulación con ordenador, y la ingeniería convergen hacia los mismos principios teóricos y técnicas experimentales. La Nanotecnología, junto con las tecnologías de la información y la biotecnología, es uno de desarrollos esenciales que han tenido lugar en los últimos 15 años.

En sentido amplio, la Nanociencia (aunque se ha extendido mucho más el término 'Nanotecnología') es el conjunto de saberes y metodologías dirigidos a estudiar, fabricar y caracterizar estructuras funcionales con dimensiones inferiores a unas pocas decenas de nanómetros. El estudio de dichas estructuras incluye el análisis de propiedades estructurales, propiedades mecánicas, eléctricas, magnéticas, químicas, el estudio de interacción con otras nanoestructuras, su interacción con ondas electromagnéticas, su interacción con medios biológicos, y así hasta completar un largo etcétera.

La Nanociencia se ha ido fraguando a lo largo de las últimas dos décadas mediante la confluencia de varias disciplinas en un interés común por los fenómenos en la escala del nanómetro. Desde luego, el interés por la miniaturización de los dispositivos electrónicos ha sido uno de los alicientes fundamentales para ir en busca de lo 'pequeño' y lo 'rápido'. Recordemos aquí que la integración de circuitos electrónicos se duplica aproximadamente cada 18 meses aproximadamente [1]. Otro impulso en la Nanociencia lo ha constituido el estudio de los fenómenos de escala molecular que tienen lugar dentro de las células o en determinados procesos químicos. Otro hito en este desarrollo ha sido el momento en que el hombre ha sido capaz de observar y manipular átomos y moléculas mediante herramientas tan sofisticadas como el Microscopio de efecto túnel (STM) y todas las técnicas que de él se han derivado [2]. Asimismo el desarrollo de la Microscopía Electrónica convencional ha permitido una caracterización mejor de los sistemas, llegando a la resolución atómica a lo largo de la última década [2]. No han sido estos avances los únicos que han contribuido a establecer una nueva forma de pensar, ya que desde ámbitos tan distintos como la Microelectrónica, la Catálisis, la Microscopía, el modelado cuántico, o la Genética, el afán ha sido el mismo: poder crear, observar, entender, manipular y hacer funcionar objetos de escala nanométrica, ya sean estas puertas lógicas, pequeñas cavidades donde una reacción pueda tener lugar de manera más eficiente, moléculas adsorbidas en una superficie, canales iónicos en membranas celulares, o pequeños fragmentos de una cadena de ADN para inducir una modificación genética.

Por lo tanto, se puede decir que paulatinamente se ha ido cambiando la manera de pensar de muchos científicos e ingenieros, viendo que existe una forma de fabricar sistemas complejos partiendo desde abajo, desde escalas atómicas, imitando el comportamiento de la naturaleza. Este método de ensamblado o fabricación (*bottom-up*) permitiría fabricar desde estructuras simples (átomos o moléculas) sistemas complejos, emulando lo que la naturaleza sabe hacer, eso sí, tras un larguísimo proceso evolutivo. Esta forma de pensar, sin embargo, tiene antecedentes desde hace casi 40 años, cuando se presentaron muchos de los conceptos que ahora nos parecen novedosos [3].

2.2. Perspectivas tecnológicas e implicaciones sociales de la Nanotecnología.

Las perspectivas que abre la Nanotecnología son impresionantes y será posible, a lo largo de las dos próximas décadas, obtener potenciales avances que ahora parecen de ciencia-ficción. Podemos citar entre otros:

- o El aumento en varios órdenes de magnitud de las capacidades actuales de almacenamiento de datos. A modo de ejemplo, un dispositivo de unos pocos centímetros cuadrados contendría la misma información que la almacenada en cientos de miles de libros.

- o Manufacturar materiales y productos de ‘abajo a arriba’ (*bottom-up*). Esto permitirá desarrollar procedimientos de manufactura que implicarán menos cantidad de materiales de partida, optimizando el consumo, y teniendo menos impacto medioambiental.
- o Desarrollar materiales 10 veces más resistentes que el acero pero que serán mucho más ligeros. Esto permitirá desarrollar mejores medios de transporte, más seguros, de menor consumo, lo que también determina un descenso en el consumo de combustibles fósiles. Estos desarrollos permitirían un avance sustancial en la fabricación de futuros vehículos y estaciones espaciales.
- o Desarrollar computadoras y sistemas de transferencia de datos más rápidos y de una mayor integración, que superarán en miles de veces las prestaciones de los sistemas actuales. Esto permitirá que la revolución tecnológica basada en las comunicaciones siga profundizando en la sociedad y llegue a muchas más personas por el abaratamiento de costes.
- o Diseñar y desarrollar sistemas destinados a la vehiculización de moléculas activas hacia el órgano diana, tras su administración al organismo humano o animal. Esta vehiculización permitirá mejorar la eficacia terapéutica y reducir la toxicidad de los fármacos. El diseño de los sistemas irá especialmente dirigido a moléculas activas complejas destinadas al tratamiento del cáncer, así como a proteínas biotecnológicas a a plásmidos (terapia génica). Fabricar sistemas de diagnóstico basados en moléculas complejas diseñadas para fines específicos.
- o Crear minúsculos sensores de muy bajo precio, capaces de controlar multitud de parámetros, de forma que muchos procesos industriales o de la vida cotidiana se hagan más precisos y seguros (conducción vial, detección de contaminantes, electrodomésticos inteligentes, etc).
- o Crear sistemas de extracción de contaminantes tanto del agua como del aire, de forma que el medio ambiente sea más limpio y permita un crecimiento sostenido en las grandes concentraciones urbanas que ya existen o surgirán a lo largo de las próximas décadas.

Está claro que la lista de aplicaciones es muy grande y que el impacto en la sociedad será decisivo. La implantación de la nueva forma de pensar es tan arrolladora que las diversas comunidades científicas se han apresurado a bautizar algunas de las parcelas donde trabajaban con nombres donde el prefijo ‘nano’ es el indicador de este cambio de tendencia. Ya se habla de Nanoquímica, Nanomedicina, Nanomecánica, Nanomagnetismo, Nanobiología, Nanobiotecnología, Nanoelectrónica, Nanotribología, etc. Es decir, podemos afirmar que estamos saliendo de la era de lo ‘Micro’ y se ha entrado en la era de lo ‘Nano’. Esta revolución ha tenido una amplia repercusión en la literatura pudiéndose encontrar en la actualidad decenas de libros genéricos sobre el tema. Aquí recogemos quizás los más significativos [4-12]. Dicha revolución no ha ocurrido al margen de la opinión pública, que empieza a tomar de forma paulatina conciencia de un cambio tecnológico. Reflejo de este cambio de tendencia es la aparición de numerosos artículos y reportajes sobre el tema en diarios y revistas de gran difusión. El mundo de las finanzas también ha tomado nota de las implicaciones económicas sustentadas en lo ‘nano’ y numerosas empresas de capital riesgo se están lanzando a financiar proyectos basado en los nuevos conocimientos.

Esta incursión en el mundo de la nanoescala no es sólo un paso más hacia la miniaturización, sino un terreno cualitativamente nuevo, ya que está completamente dominado por la Mecánica Cuántica. Desde hace mucho tiempo se sabe que la materia a escala nanométrica presenta propiedades diferentes de las manifestadas a escalas mayores. Ahora no se trata de conformarse con las estructuras nanométricas que la Naturaleza nos proporciona o con estructuras fabricadas con poco control. Ahora se abre la oportunidad de modelar la materia y modificarla en la nanoescala, para obtener propiedades fundamentalmente diferentes de las habituales. La tarea, si bien difícil, no es imposible. Por un lado, conocemos bastante bien los principios científicos que determinan el

comportamiento de átomos y sencillas moléculas. También sabemos cómo describir el comportamiento de la materia a escala microscópica. La frontera que aún está por explorar es la región de la nanoescala, donde lo pequeño puede ser esencialmente diferente cuando el tamaño del material, al menos en una dimensión, se aproxime a la longitud característica del fenómeno que se trate. Muchas de las teorías que se manejan en la actualidad para describir la materia a escala macroscópica (emisión de luz por partículas metálicas, ferromagnetismo) tienen longitudes críticas en la escala de los nanómetros (longitud de onda del plasmón, tamaño de las paredes de los dominios magnéticos) y serán ciertamente inadecuadas para describir fenómenos o el funcionamiento de dispositivos a la nanoescala. Los más que probables avances científicos fundamentales en Nanociencia provocarán cambios dramáticos en el modo en que se entienden, diseñan y fabrican materiales, dispositivos y sistemas.

Además de la ciencia básica y de industrias ya convencionales, como la microelectrónica, la basada en la catálisis, etc, existen muchas otras ramas industriales, técnicas y científicas que se van a beneficiar del desarrollo imparable de la Nanotecnología. En particular, la Nanotecnología incidirá de forma decisiva en temas relacionados con el medio ambiente y la salud, por lo que las implicaciones sociales de la Nanotecnología van a ser muy profundas. De hecho, a menudo se dice que la Nanotecnología abre el camino a la próxima revolución industrial. Este aspecto es crucial, ya que las sociedades modernas avanzadas se han construido sobre el conocimiento científico-tecnológico y es crucial estar bien situados junto con los países poseedores de la riqueza intelectual y no caer en la dependencia exterior que condiciona o estrangula el crecimiento social.

2.3. Una breve descripción de la Nanotecnología en el mundo.

Hoy la Nanotecnología está todavía en su infancia, pero en el futuro se perfilan incrementos de ordenes de magnitud en la eficiencia de los ordenadores, la posibilidad de restauración de órganos humanos mediante tejidos prediseñados, o de nuevos materiales creados por autoorganización de átomos y moléculas, así como la emergencia de fenómenos físicos y químicos completamente nuevos. Estamos ante un potencial inmenso de aplicación, de valor añadido, de rápida traducción a dispositivos y bienes de consumo. Es obvio que muchos de estos no se harán realidad hasta dentro de unas décadas, pero también es verdad que otros muchos van a invadir nuestras vidas en menos de dos años (citemos, por ejemplo, las pantallas ultraplanas de los teléfonos móviles de tercera o cuarta generación o los últimos sistemas de almacenamiento magnético o magnetoóptico). Ante este previsible desarrollo, los dirigentes de la política científica de los países avanzados están desarrollando mecanismos que asienten e impulsen el desarrollo nanotecnológico. Por ejemplo, en Estados Unidos la “National Science Foundation” (NSF) ha lanzado el plan NNI (National Nanotechnology Initiative) [13] por el cual se destinan casi 1000 millones de dólares para fomentar, en los próximos cuatro años, la investigación multidisciplinar entre equipos de investigación que trabajen para obtener objetivos a largo plazo en el área de la Nanociencia y Nanoingeniería. Sin embargo, esta iniciativa federal es pequeña cuando se compara con las iniciativas estatales llevadas a cabo en California, Texas, donde se destinan centenares de millones de dólares para la creación de centros dedicados a Nanotecnología. Japón cuenta también con un poderoso plan soportado desde los sectores industriales y el gobierno [14]. En países como Corea, Singapur, o Taiwán, la iniciativa fundamentalmente tiene base industrial, liderada por los grandes consorcios de la microelectrónica o automoción que allí se establecieron o formaron durante las últimas décadas (por ejemplo la empresa Samsung dedica más de 500 personas a desarrollos basados en Nanotecnología en un centro de investigación creado recientemente).

En Europa, de forma más modesta e indecisa, se han ido estableciendo poco a poco planes nacionales o europeos donde la Nanotecnología se presenta como un punto clave. En Alemania, por ejemplo, el Ministerio de Investigación y Tecnología (MBFT) estableció ya en 1998 seis centros nacionales de competencia en Nanotecnología. Otros países también están reorganizando sus esquemas de organización científica en base a la Nanotecnología (entre otros nuevos saberes). Ejemplos son la creación de Centros de Nanotecnología en Francia o Reino Unido. La Unión Europea, con más orientación hacia el desarrollo de la Nanoelectrónica lanzó ya en el V Programa Marco de la U.E. la iniciativa NID (Nanotechnology Information Devices) [15], dentro del plan IST

(Information Society Technologies), que intenta fomentar la creación de consorcios con la finalidad de no perder terreno frente a los EE.UU. o a Japón. Es importante destacar que la Comisión Europea ha aprobado diversas redes de Excelencia vinculadas a la Nanotecnología (PHANTOMS, NANOINDEX, NANOFORUM, etc) que está siendo coordinada desde España por una PYME [16]. En el área de materiales de la Unión Europea ha habido una dedicación similar hacia el impulso de la Nanotecnología aplicada al desarrollo de nuevos procesos industriales. Sin embargo, estos tímidos pasos van a consolidarse en un serio impulso de la Nanotecnología en el VI Programa Marco de la U.E. que se está fraguando en la actualidad [17]. De hecho, una de las 8 áreas que va a ser impulsada de forma decisiva tiene como nombre “*Nanotecnología y Nanociencias, Materiale Multi-funcionales basados en el conocimiento, y nuevos procesos de producción y dispositivos*” y estará dotada con 1.300 millones de Euros en el periodo 2002-2006 [18]. El auge en Europa de las iniciativas dedicadas a desarrollar y divulgar la Nanociencia han sido muchas, hasta el punto de que hoy en día existen más de 50 redes nacionales o regionales dedicadas a aunar esfuerzos en este decisivo tema. Además de las iniciativas institucionales, la Nanotecnología está siendo objeto de creciente interés en el mundo no académico, dadas las consecuencias importantes que tendrá sobre la sociedad [19].

La Tabla siguiente muestra la inversión dedicada a Naotecnología en diversas regiones mundiales.

Presupuesto dedicado a Nanotecnología (M\$ / año)*							
REGION	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Europa Occidental	126	151	179	200	225	400	-
Japón	120	135	157	245	465	750	-
EE.UU.**	116	190	255	270	422	604	710
Otros***	70	83	96	110	380	520	-
TOTAL	432	559	687	825	1502	2274	
*Fuente: M.Roco (National Science Foundation, EE.UU.) “Government Nanotechnology Funding: An international outlook”							
**No incluye las iniciativas estatales.							
***Otros: Australia, Corea, Canadá, Taiwán, China, Rusia, Singapur, Europa del Este.							

Tabla I. Financiación de la Nanotecnología en el mundo

2.4. Nanociencia y Nanotecnología en España.

La situación de la Nanotecnología en España es bastante contradictoria. Por un lado, existen muchos grupos de investigación cuyo personal se ha ido formando en España y en el extranjero (a través de estancias postdoctorales de larga duración) en diversas técnicas y metodologías que están directamente relacionadas con la Nanociencia. Ese grupo de jóvenes investigadores ha ‘crecido científicamente’ dentro de un contexto en el que la misma Nanociencia ha ido surgiendo. Por otro lado, no existe un Programa Nacional, ni planes regionales generalizados, donde se aglutinen de forma constructiva los esfuerzos de todas esas personas cualificadas. Por ejemplo, en el Plan Nacional de I+D+I (2001-2003) la palabra “Nanotecnología” aparece citada una decena de veces, vinculada a su futuro desarrollo, en un documento de varios cientos de páginas [20]. Desde una perspectiva industrial, existe un gran desconocimiento de las implicaciones que a medio plazo van a tener los desarrollos tecnológicos y puede que la situación de dependencia tecnológica también se reproduzca en este campo en el futuro, como ha ocurrido otras veces en diferentes materias. Lo que es claro es que el tránsito del saber básico hacia la aplicación industrial es a medio plazo y que desde ahora hay que ir sentando las bases de ese tránsito. También llegará el momento en que sea necesario que el personal que trabaje en la industria conozca técnicas derivadas de la Nanociencia de la misma manera que en los procesos industriales de hoy en

día, la automatización, robótica, microtecnología, etc, son términos comunes. Unas pocas decenas de empresas españolas están al tanto de las implicaciones de la Nanotecnología a corto o medio plazo.

En general se puede afirmar que las iniciativas existentes para el impulso de la Nanotecnología son escasas y surgen de los propios científicos o han sido forzadas desde la Unión Europea. Ejemplos de iniciativas a favor de la Nanotecnología comienzan a surgir. Citaremos aquí la existencia de la Red Nanociencia, financiada modestamente por el Ministerio de Ciencia y Tecnología. La red Nanociencia reúne a jóvenes investigadores y tiene un enfoque de ciencia básica. Dicha red, con 110 miembros en la actualidad, cuenta con una dotación de 30.000 Euros para tres años. Estas cantidades son muy pequeñas cuando se comparan con las dotaciones (reflejo del interés) que existen en otros países. Como ejemplos adicionales de las iniciativas que surgen en España relacionadas con este campo citaremos la celebración de la serie de conferencias internacionales “Trends in Nanotechnology” durante los años 2000, 2001, 2002 y 2003, que se han convertido en uno de los puntos de encuentro más importantes a nivel mundial donde se observa la rápida evolución de la Nanotecnología. Además, nos gustaría mencionar que ya existen otros esfuerzos institucionales, como la creación de sendos institutos de Nanotecnología y de Nanobiotecnología (Parque Científico de Cataluña) en Cataluña, un Centro de Nanotecnología de Aragón con sede en Zaragoza, y la creación del Instituto de Nanotecnología y Diseño Molecular (dentro del Parque Científico de Madrid). A pesar de la escasa aportación desde el Estado, está claro que existe una dinámica en la dirección de incluir a los diversos estamentos que hacen posible la I+D en España en el tren de la Nanotecnología.

2.5. Bibliografía.

- [1] Esta ley de crecimiento se conoce como ‘Ley de Moore’ y se ha venido manteniendo durante los últimos 25 años.
- [2] *From Instrumentation to Nanotechnology*, J. W. Gardner, H. T. Hingle, Gordon & Breach Publishing Group, 1999; 336pp.; ISBN: 2881247946.
- [3] El antecedente más citado es la ponencia “There's Plenty of Room at the Bottom” impartida en el CalTech por el Premio Nobel de Física Richard Feynman. Una transcripción de la misma se puede encontrar en <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>. El mensaje principal extraído de esta ponencia es que la manipulación de objetos de tamaño atómico y molecular no está en contra de ninguna ley física y que en todo caso dependerá en gran medida del desarrollo de poderosas herramientas de trabajo.
- [4] *Carbon Nanotubes*, M. Endo, M. S. Dresselhaus, S. Iijima (Editors), Elsevier Science, 1996; 180pp., ISBN: 0080426824.
- [5] *Integrated Chemical Systems: A Chemical Approach to Nanotechnology* Allen J. Bard, Wiley, John & Sons, 1994; 324pp., ISBN: 0471007331.
- [6] *Micromachines & Nanotechnology: The Amazing New World of the Ultrasmall*, David Darling, Silver Burdett Press, 1995; 64pp., ISBN: 0382249534.
- [7] *Nano: The Emerging Science of Nanotechnology*, Vol. 1; Ed Regis; Little, Brown & Company, 1996; 325pp., ISBN: 0316738522.
- [8] *Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities*, Robert A. Freitas Jr., Landes Bioscience, 1999; 509pp., ISBN: 157059645X.
- [9] *Nanoscience: Friction and Rheology on the Nanometer Scale*, E. Meyer, R.M. Overney, K. Dransfeld, and T. Gyalog, World Scientific Publishing Company, 1997; 373pp., ISBN: 9810225628.
- [10] *Nanofabrication & Biosystems: Integrating Materials Science, Engineering & Biology*, Harvey C. Hoch, Harold G. Craighead, Lynn Jelinski, Cambridge University Press, 1996, 441pp., ISBN: 0521462649.
- [11] *Nanotechnology Molecularly Designed Materials*; Gan-Moog Chow, Kenneth E. Gonsalves (Editors), American Chemical Society, 1996; 413pp., ISBN: 0841233926.
- [12] *Nanotechnology: Molecular Speculations on Global Abundance*, B. C. Crandall (Editor), MIT Press, 1996; 187pp., ISBN: 0262531372.
- [13] En la página web <http://www.nano.gov> se puede encontrar mucha información sobre la iniciativa NNI. En la página <http://itri.loyola.edu/nanobase> de la Universidad de Loyola (EE.UU.) se pueden acceder a todos los

documentos preliminares, estudios y bases de datos que dieron lugar a la iniciativa NNI. En particular podemos citar los documentos i) “Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report: A vision for Nanotechnology R&D in the next decade” National Science and Technology Council. September 1999; ii) “National Nanotechnology Initiative”, Supplement to the Presiden’s FY2001 Budget. National Science and Technology Council. February 2000; iii) “Societal Impications of Nanosciencie and Nanotechnology”. National Science Foundation. March 2001.

[14] En <http://coral.t.u-tokyo.ac.jp/roche> y <http://www.onr.navy.mil/onrasia/gnrl/nano.html> se pueden encontrar datos sobre la situación de la Nanociencia en la región de los países asiáticos más industrializados.

[15] En la página web <http://www.cordis.lu/ist/fetnid.htm> se puede encontrar toda la información sobre la iniciativa NID y de los once proyectos actualmente en curso. Las áreas de interés sobre Nanotecnología para la Comisión Europea son: (i) *Nanotecnología para aplicaciones estructurales* (Carámicas y materiales nanoestructurados, nanotubos, recubrimientos con nanopartículas, etc); (ii) *Nanotecnologías para el procesado de la información* (Nanoelectrónica, Optoelectrónica, Materiales Magnéticos); (iii) *Nanobioteecnología* (Encapsulado y dosificación local-dirigida de fármacos); (iv) Nanosensores ; (v) *Nanotecnología para procesos electroquímicos* (filtrado, catálisis, nanoelectrodos); (vi) *Aplicaciones a largo plazo de tipo genérico* (computación cuántica, autoensamblado molecular-SAM, interacción de moléculas orgánicas con superficies); (vii) *Instrumentación para Nanotecnología* (Equipos analíticos, síntesis de materiales nanoestructurados, nanolitografía, y técnicas de deposición de ultraprecisión).

[16] La red de excelencia de Nanoelectronica está coordinada por la empresa CMP-Científica.

<http://www.cmp-cientifica.com>

[17] La Unión Europea ha creado la página web <http://www.cordis.lu/nanotechnology> dedicada a Nanotecnología, como precedente de las actividades en este campo dentro del VI Programa Marco.

[18] Datos proporcionados por el CDTI.

[19] Para evaluar el rápido crecimiento del interés por la Nanotecnología pueden consultarse las páginas web de Institutos virtuales de reciente creación como el Institute of Nanotechnology del Reino Unido (<http://www.nano.org.uk/>). También se pueden consultar páginas de contenidos más diversos como <http://www.nanosite.net>, <http://nanozine.com/>, <http://www.vjnano.org/> (Virtual Journal of Nanoscale Science and Technology). Estas dos últimas localizaciones corresponden a revistas electrónicas con gran información sobre eventos, grupos de investigación, etc.

[20] Todos los documentos relacionados con el Plan Nacional de I+D+I se encuentran en http://www.mcyt.es/sepct/PLAN_I+D/pnididocu.htm

3. La Red Española de Nanotecnología (NANOSPAIN)

3.1. Descripción y objetivos de NanoSpain

Además de las iniciativas mencionadas anteriormente, existe también otra, de mayor calado, y que pretende aglutinar esfuerzos de grupos de investigación ubicados en Universidades, Organismos Públicos de Investigación, Centros Tecnológicos, y empresas para que coordinar todos los esfuerzos que se hacen en este campo. Esta iniciativa se denomina Red NanoSpain y agrupa en la actualidad a **93 grupos españoles relacionados con la Nanotecnología**. La lista siguiente ilustra algunas de las líneas de investigación identificadas entre los miembros actuales de la red y que sirven para ilustrar su potencial:

- o **Nanotubos.** Fabricación mediante ablación láser. Estudio de propiedades mecánicas y transporte eléctrico. Fabricación de arrays de nanotubos. Empleo en transistores de un solo electrón. Dopado de nanotubos.
- o **Materiales moleculares.** Síntesis de materiales moleculares con propiedades ópticas, magnéticas o electrónicas no convencionales.
- o **Nanomagnetismo y espintrónica.** Modificación de propiedades magnéticas en el rango de 20-500 nm al suprimir las paredes de dominio. Uniones túnel. Dispositivos basados en el transporte de información asociado al espín electrónico. Transporte polarizado de espín en semiconductores. Inyección de los electrones con polarización de espín en semiconductores.
- o **Electrónica Molecular y Nanoelectrónica.** Límites de la aproximación de reducción de tamaño (top-down) en la electrónica convencional basada en semiconductores. Alternativas moleculares basados en semiconductores.
- o **Computación cuántica.** Implementación física de bits cuánticos o ‘qbits’ en sistemas cuánticos de dos estados. Desarrollo de algoritmos cuánticos.
- o **Nanoestructuras auto-organizadas.** Nanopartículas metálicas estabilizadas mediante tioles u otra moléculas. Auto-organización inducida por luz.
- o **Química supramolecular.** Síntesis de materiales complejos por auto-ensamblado u otras aproximaciones ‘bottom-up’. Síntesis de moléculas orgánicas ultrapuras con funciones bien definidas, claves para biosensores y electrónica molecular.
- o **Química bio-orgánicas y bio-inorgánica.** Procesamiento nanotecnológico de las partículas que forman los productos farmacéuticos hidrófobos.
- o **Biosistemas a la nanoescala.** Transporte lineal a lo largo de microtúbulos. Reconocimiento molecular.
- o **Nanobiotecnología.** Funcionalización de superficies, propiedades mecánicas y eléctricas de biomoléculas, nanofluídica, biosensores basados en moléculas individuales, chips de ADN y proteínas.
- o **Herramientas y métodos de fabricación de nanodispositivos y nanomáquinas.** Nanomanipulación. Nanocableado usando polímeros conjugados lineales. Nanoimprint. Nanolitografía. Nanoindentación. Motores moleculares. Interruptores atómicos de contacto.

La Red NanoSpain, no es una red como las que hasta ahora se han planteado en España. Es una iniciativa de carácter mucho más ambicioso, a imagen de las iniciativas que se siguen en EE.UU. o en Europa. De hecho persigue unos objetivos que van más allá de los encomendados a una Red convencional.

La creación de la Red NanoSpain pretende alcanzar los siguientes objetivos:

- o **Fomentar la creación de grupos de I+D multidisciplinares.**
- o **Favorecer la integración de los grupos de I+D españoles en los proyectos Europeos del VI Programa Marco de la U.E. (2002-2006).**
- o **Establecer un nexo entre todos los miembros a través de un sitio web dinámico**
- o **Conectar con otras iniciativas regionales, nacionales, o internacionales.**
- o **Formar grupos de trabajo según temáticas y afinidades.**
- o **Atraer nuevos laboratorios a esos grupos de trabajo.**
- o **Divulgar la Nanotecnología, contactando con medios de comunicación y los diversos Museos de la Ciencia que existen en el país.**
- o **Atraer a empresas para su mejor integración en esta nueva área e informarlas de lo que representa para su futuro la Nanotecnología.**
- o **Fomentar intercambios de investigadores e ingenieros entre los laboratorios miembros de la red.**
- o **Proporcionar apoyo logístico y económico a reuniones, conferencias, etc. que estén organizadas por miembros de la Red.**

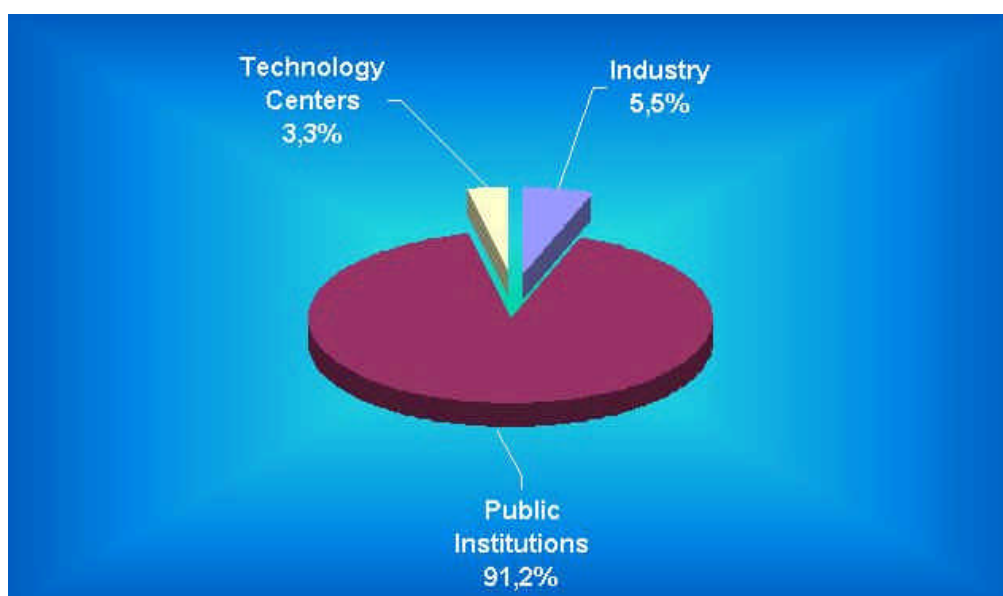
Finalmente un objetivo prioritario de la Red Nanospain es el de elaborar documentos como este que sirvan para promocionar la Nanotecnología en España, apoyando las decisiones de los Órganos competentes en la planificación científica.

3.2. Indicadores de la Red NanoSpain.

3.2.1. Distribución de miembros por sector de procedencia (Industria, Centro Tecnológico, Administración y Universidades).

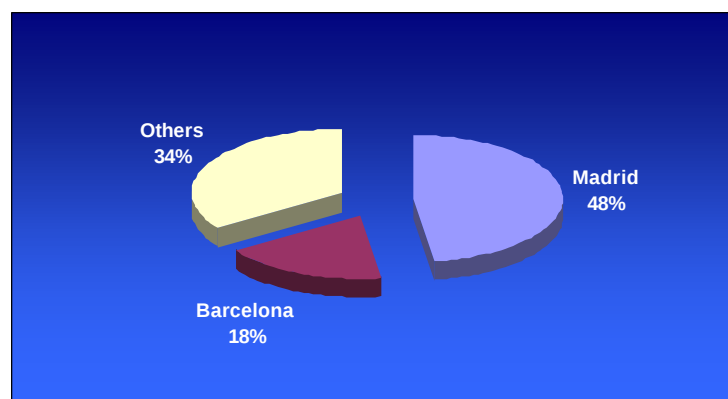
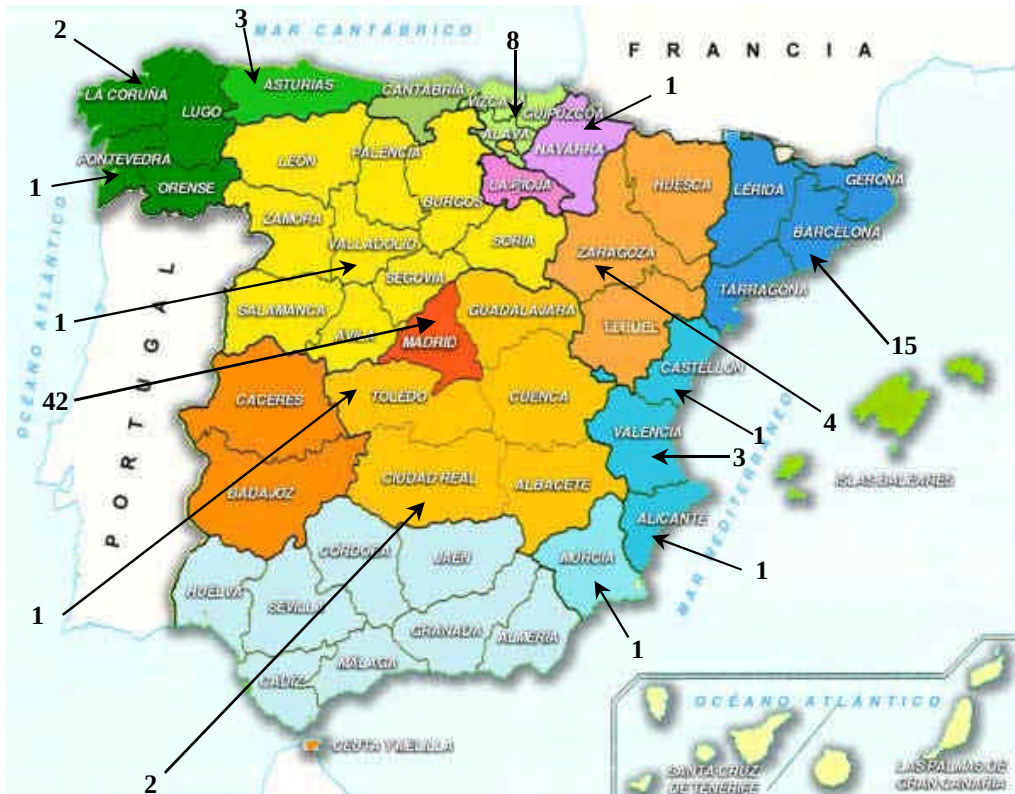
Como se ve en la tabla y gráfico siguientes la red NanoSpain está formada esencialmente por grupos de investigación que provienen del ámbito público. Uno de los objetivos de NanoSpain es intentar incorporar laboratorios y grupos de investigación de empresas e industrias que estén interesados en Nanotecnología.

INDUSTRY (5)
Nanotec S.L.
CMP-Científica S.L.
CIDETEC
Ramen S.A.
Unimetrik S.A.
CENTROS TECNOLÓGICOS (4)
Tekniker
Cidetec
Inasmet
Parque Científico de Barcelona
UNIVERSIDADES Y ORGANISMOS PUBLICOS DE INVETIGACION (84)
(ver la relación en http://www.nanospain.org)



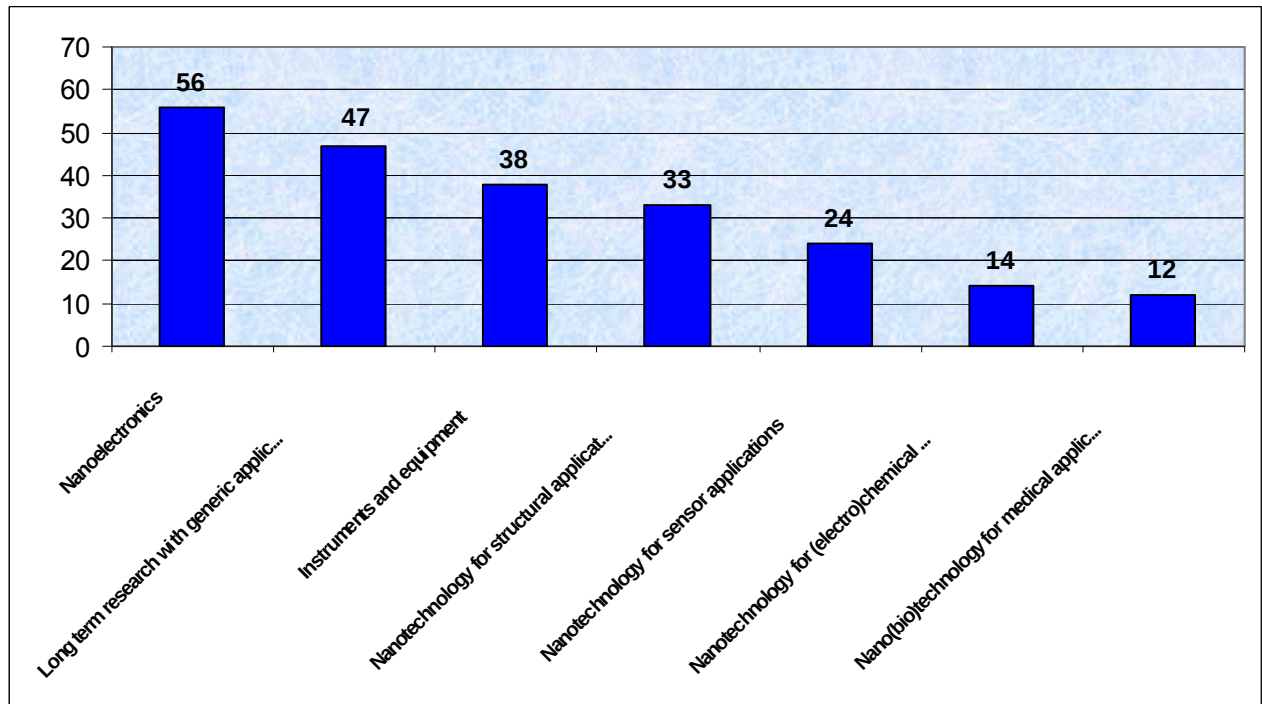
3.2.2. Distribución de miembros de NanoSpain por procedencia geográfica.

Como se ve en los gráficos siguiente la estructura de NanoSpain refleja básicamente la estructura del sistema de I+D español, con una fuerte presencia de centros de Madrid y Barcelona (porcentaje mayoritario).



3.2.3. Distribución de miembros de NanoSpain por líneas de investigación. (Nótese que un mismo grupo puede estar involucrado en varias líneas de investigación)

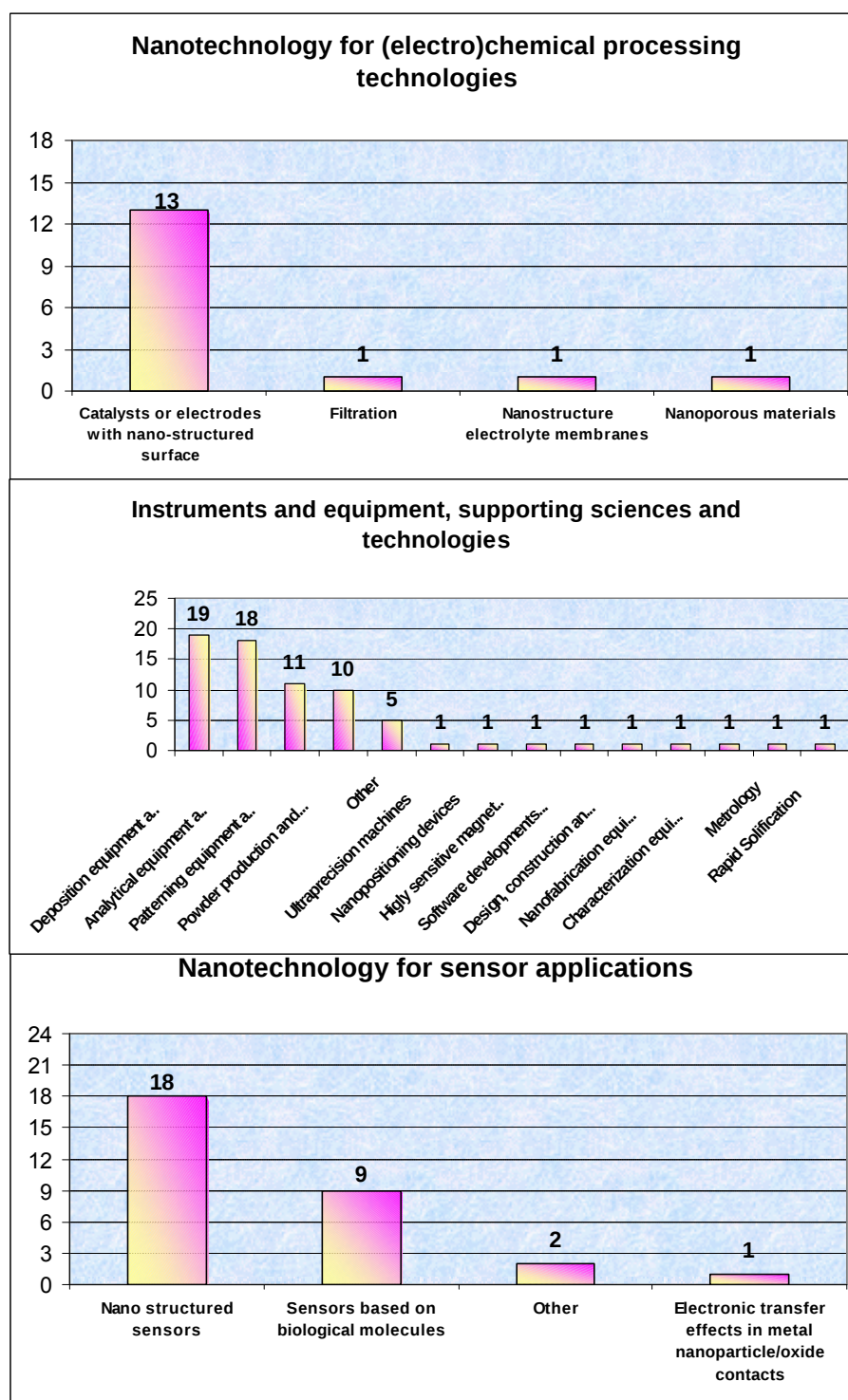
Para hacer estos histogramas se han utilizado las misma líneas de investigación que figuran en las clasificaciones de la Unión Europea. Obsérvese que un mismo grupo puede contribuir a varias líneas de forma simultánea.

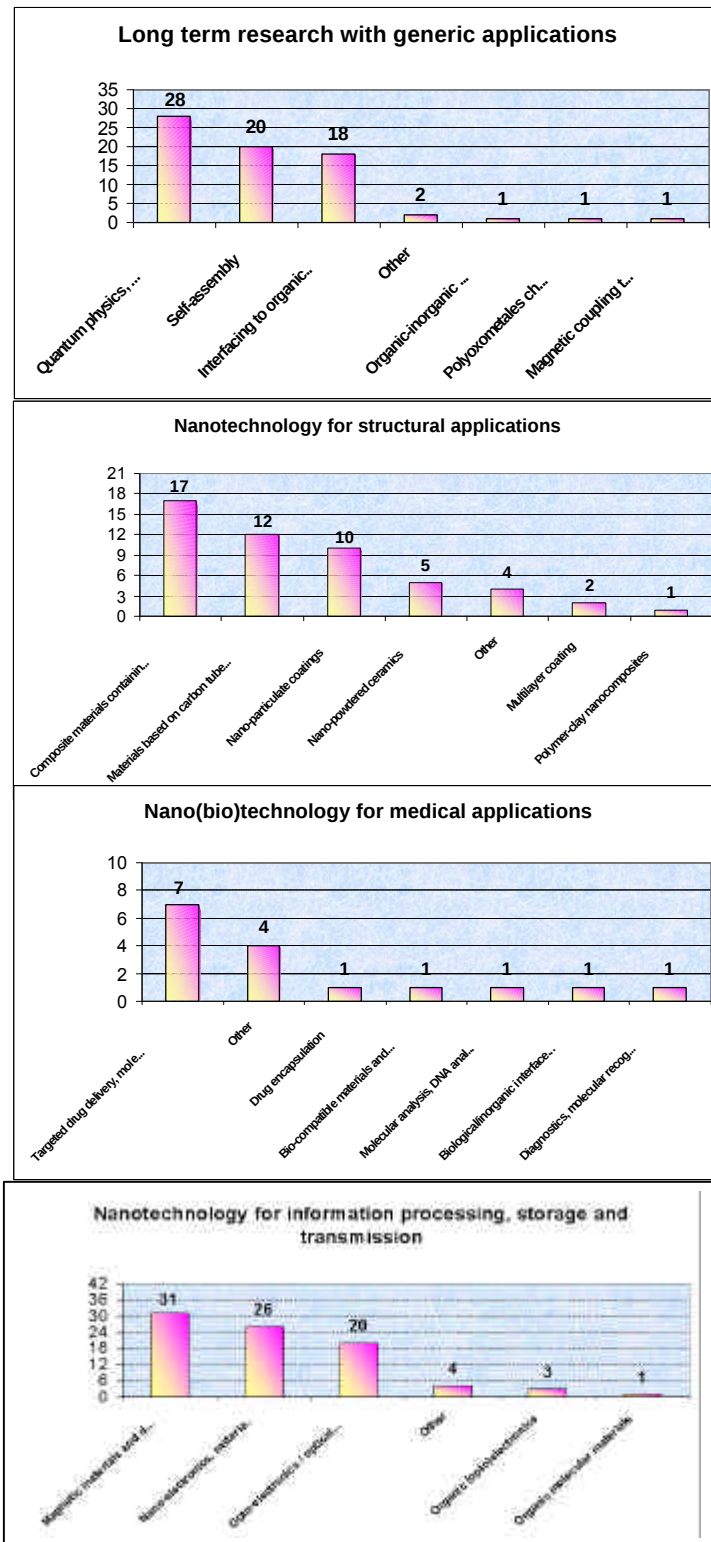


3.2.4. Distribución de miembros de NanoSpain por sub-líneas de investigación.

(Nótese que un mismo grupo puede estar involucrado en varias líneas y sub-líneas de investigación)

Para hacer estos histogramas se han utilizado las mismas líneas y sub-líneas de investigación que figuran en las clasificaciones de la Unión Europea para describir la actividad en Nanotecnología. Obsérvese que un mismo grupo puede contribuir a varias líneas y sub-líneas de forma simultánea.





ANEXO I.

Breves informes sobre temas específicos de investigación relacionados con la Nanotecnología.

INFORME SOBRE NANOMATERIALES MOLECULARES

Jaume Veciana

Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (C.S.I.C.)

1) Introducción:

Un área con gran actividad dentro de la Nanotecnología es la manipulación o estructuración de objetos de naturaleza molecular a escala nanométrica, así como la fabricación y estudio de materiales moleculares nanoscópicos, denominados *Nanomateriales moleculares*. Bajo ese término se engloban todos aquellos materiales de naturaleza molecular o polimérica en los que sus propiedades físicas, químicas, biológicas y/o farmacológicas dependen en gran medida de su nanoestructuración en 0- (partículas), 1- (fibras), 2- (capas) y 3- (sólidos nanoestructurados) dimensiones. Estos materiales presentan propiedades inéditas debido a sus características nanoscópicas, que no pueden alcanzarse mediante los materiales clásicos macroscópicos.

2) Estado del arte (últimos avances, grupos relevantes, etc...):

Las aplicaciones industriales actuales o que se prevén alcanzar en un futuro próximo con los *Nanomateriales moleculares* son bastante amplias, ya que presentan ventajas para la fabricación de polímeros especiales, de nano-reforzantes para materiales compuestos, de pigmentos y colorantes, de nuevos componentes para baterías y celdas de combustible, para la mejora de catalizadores, sensores y cosméticos, así como en la industria agroalimentaria, la farmacéutica y en aplicaciones biomédicas. Dentro de estas últimas aplicaciones, cabe mencionar el diagnóstico y la terapia génica, la liberación controlada de fármacos y la criba de compuestos de interés médico. En general, puede afirmarse que el interés que despiertan los *Nanomateriales moleculares* incide principalmente en una mejora de la productividad y del desarrollo sostenible. Así, existen muchas expectativas para este nuevo tipo de materiales, ya que se prevé permitirán reducir los residuos y conseguir con ellos un mejor aprovechamiento de la energía. Por otra parte, esos materiales permitirán añadir nuevas funcionalidades a productos ya existentes y desarrollar con ellos materiales inteligentes. Otra de las aplicaciones que este tipo de materiales permitirá desarrollar será la detección en tiempo real de muchas moléculas, lo que tendrá un gran impacto en campos como el de la salud y el medio ambiente.

La actividad española dentro de esta amplia área de investigación puede calificarse de “baja” si se toma en consideración el tamaño de nuestro país y se compara con la de otros de nuestro entorno.

Algunos de los grupos españoles que trabajan en este campo de investigación son: E. Coronado (ICM, Valencia); R. Eritja (IBMB, Barcelona, CSIC); V. Fornes (ITC, Valencia, CSIC); M. López Quintela (U. Santiago de Compostela); F. Palacio (ICMA, Zaragoza, CSIC); J. I. Pascual (ICMAB, Barcelona, CSIC); E. Ruiz-Hitzky, (ICMM, Madrid); J. Samitier (U. Barcelona); C. Solans (IIQAB, Barcelona, CSIC); T. Torres (U. Autónoma Madrid); J. Veciana (ICMAB, Barcelona, CSIC).

3) Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2004-2007:

Según un reciente estudio realizado a nivel Europeo por DECHEMA para la Unión Europea, los tópicos de investigación dentro de la Nanotecnología para los que se prevé una mayor actividad en los próximos años serán ordenados de mayor a menor importancia y agrupados por sus características nanoscópicas, sus aplicaciones y sus combinaciones de características y aplicaciones- los siguientes:

- o **Características nanoscópicas:** 1) nanopartículas, 2) materiales nano- o meso-porosos, 3) materiales nanoestructurados en forma de capas, 4) materiales híbridos y nanocompuestos, 5) filmes ultradelgados, monocapas.
- o **Aplicaciones:** 1) catálisis, 2) sensores, 3) almacenamiento de la información, 4) materiales estructurales, y 5) componentes electrónicos.
- o **Combinaciones estructura/aplicaciones:** 1) nanopartículas para catálisis, 2) materiales nano- o meso-porosos para catálisis, 3) materiales nano- o meso-porosos para separaciones, 4) nanopartículas para sensores. Nanocompuestos y materiales híbridos como materiales.

Por ello, también se prevé que esos objetivos serán los de mayor actividad en el campo de los *Nanomateriales Moleculares*.

4) Conclusiones:

De aquí, que se deban priorizar las investigaciones dirigidas hacia todos esos objetivos haciendo un especial énfasis en dotar a los laboratorios españoles más competitivos de la infraestructura y el personal necesario para abordar dichos objetivos de una forma aun más competitiva.

INFORME SOBRE ELECTRÓNICA MOLECULAR

Jaume Veciana

Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (C.S.I.C.)

1) Introducción:

Dentro de la *Electrónica Molecular* existen dos grandes áreas de trabajo: la *Electrónica unimolecular*, también conocida como *Nanoelectrónica molecular*, y la *Electrónica basada en moléculas*, que también se denomina como *Electrónica plástica*. Ambas áreas deben ser diferenciadas por cuanto que inciden en aspectos diferentes y su estado de evolución es radicalmente distinto, aunque existan algunos puntos de contacto entre ellas. Así, ambas persiguen el desarrollo de dispositivos para Electrónica, empleando para ello moléculas o macromoléculas como unidades de construcción con funcionalidades eléctricas, magnéticas, ópticas, mecánicas o químicas. La diferencia más importante entre ambas áreas radica en la dimensión final de los dispositivos ya que en la *Electrónica unimolecular* estos tendrán una dimensión nanométrica, mientras que la de los otros dispositivos será macroscópica, aunque en su funcionamiento o preparación los fenómenos nanoscópicos jueguen un papel destacado.

2) Estado del arte (últimos avances, grupos relevantes, etc...):

El término *Electrónica unimolecular* se emplea hoy en día para describir aquellos dispositivos o máquinas, generalmente de características unimoleculares en los que la dinámica i/o la estática de los núcleos y electrones constituyentes de las moléculas juegan el papel que los componentes electrónicos de hoy en día tienen en la *Microelectrónica*. Este tipo de dispositivos uni-moleculares permitirán, cuando estén convenientemente integrados entre sí y con el mundo macroscópico, conseguir los dispositivos, las memorias y las puertas lógicas de la Electrónica del futuro. Como es obvio, este campo de investigación es eminentemente básico y forma parte de la Nanociencia y con el se prevén sentar las bases de la futura *Nanoelectrónica* llevando al límite más extremo de reducción de tamaño la integración física de los dispositivos y componentes electrónicos. Como ejemplos de estos dispositivos o máquinas unimoleculares podrían citarse los rectificadores, transistores, diodos, interruptores, hilos moleculares, memorias, puertas lógicas, sensores, rotores, lanzaderas, pinzas, motores, etc.

Dentro del término *Electrónica basada en moléculas* se agrupan todos aquellos estudios encaminados a preparar y desarrollar dispositivos para Electrónica basados en moléculas o macromoléculas, cuya fabricación y/o funcionamiento están fundamentados en fenómenos nanoscópicos aunque el tamaño final de los dispositivos sea macroscópico. Como ejemplos de este tipo de dispositivos pueden citarse los transistores de efecto campo plásticos, las células fotovoltaicas orgánicas, los diodos emisores de luz orgánicos, y los sensores plásticos. Así pues, este epígrafe agrupa todo lo que se suele denominar como “electrónica plástica” que trata de la fabricación de dispositivos y circuitos integrados de muy bajo coste -generalmente de un solo uso- que por razones técnicas y económicas nos son accesibles mediante la tecnología clásica del silicio. Como es obvio, esta área de trabajo se enmarca dentro de la Nanotecnología, ya que son muchos los ejemplos de este tipo de dispositivos que se están comercializando hoy en día.

La actividad española dentro de esta amplia área de investigación también puede calificarse de “baja” si se toma en consideración el tamaño de nuestro país y se compara con la de otros de nuestro entorno.

Algunos de los grupos españoles que trabajan en el campo son: J. Bartolomé (ICMA, Zaragoza, CSIC); F. Briones IMM, Madrid, CSIC); E. Coronado (ICM, Valencia); R. García (IMM, Madrid, CSIC); N. Martín (U. Complutense); F. Palacio (ICMA, Zaragoza, CSIC); J. I. Pascual (ICMAB, Barcelona, CSIC); F. Pérez-Murano (IMB, Barcelona, CSIC); J.L. Serrano (U Zaragoza); J. Tejada (U. Barcelona); T. Torres (U. Autónoma Madrid); J. Veciana (ICMAB, Barcelona, CSIC).

3) Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2004-2007:

Los retos más importantes que existen hoy en día dentro de la *Electrónica unimolecular* son los siguientes:

- o Obtención de nano-objetos moleculares –moléculas o agregados moleculares- poniendo un énfasis especial en el control de sus nanoestructuras.

- o Caracterización de la funcionalidad de los nano-objetos moleculares empleando metodologías que permitan su estudio “in situ” proporcionando información resuelta en el espacio y el tiempo.
- o Desarrollo de métodos de simulación y modelización que permita entender la funcionalidad de los nano-objetos moleculares.
- o Control de las funcionalidades o propiedades mediante el control de sus nanoestructuras e interfaces.
- o Comprensión de los factores que influyen en la estabilidad de los nano-objetos moleculares.
- o Visualización y manipulación de los nano-objetos moleculares.
- o Conexión y comunicación de los nano-objetos moleculares con el mundo externo.
- o Desarrollo de aplicaciones prácticas con los nanodispositivos y/o nanomáquinas moleculares.
- o Los aspectos que en el futuro más inmediato requieren una mayor atención dentro de la *Electrónica basada en moléculas* son los siguientes:
- o Desarrollo de técnicas avanzadas de nanofabricación y nanoestructuración de dispositivos orgánicos tales como: el auto-ensamblaje, la auto-organización, las nanolitografías blandas, etc.
- o Desarrollo de instrumental y metodologías que permitan la caracterización y el estudio a escala nanométrica de materiales moleculares y poliméricos (materia blanda).
- o Estudio y control de fenómenos a escala molecular y mesoscópica como por ejemplo: la correlación y el ordenamiento espacial molecular, la texturación anisotrópica y la epitaxia, el crecimiento de capas delgadas, la auto-organización de nanoestructuras, la segregación de fases y las transiciones morfológicas, etc.
- o Control de la integración a escalas múltiples de longitud y de tiempo en sistemas moleculares como por ejemplo: la transducción de estímulos externos (eléctricos, magnéticos, ópticos, etc) a diferentes escalas de longitud, los fenómenos de transporte de cargas y energía en sistemas moleculares, etc.
- o Desarrollo y estudio de nuevos sistemas híbridos moleculares orgánicos-inorgánicos y de materiales compuestos donde las interacciones específicas interfaciales juegan un papel destacado.

4) Conclusiones:

Son precisamente todas las actividades anteriores las que se deben priorizar haciendo un énfasis especial en dotar a los laboratorios españoles de la infraestructura y el personal necesario para abordar dichos objetivos de forma mucho más competitiva.

INFORME SOBRE NUEVAS MICROSCOPIAS DE CAMPO CERCANO

Jaime Colchero
Universidad de Murcia

1. Introducción

En pocas décadas, la Nanotecnología ha pasado de ser la visión de un genial físico [1] a ser un tema de discusión en ámbitos políticos, socioeconómicos y financieros. La escala del nanómetro tiene un interés especial desde la vertiente de la investigación básica y constituye un enorme desafío tecnológico y a la vez un importante potencial de futuro desde la vertiente de las posibles aplicaciones.

Desde el punto de vista de la investigación básica destaca la posición especial del nanómetro con respecto a otras escalas físicas por dos razones fundamentales: por un lado está la transición de lo continuo a lo discreto y por otro, por el hecho de que a esta escala la naturaleza se rige según los postulados de la mecánica cuántica que difieren fundamentalmente de los principios aplicables a sistemas macroscópicos. Por ello, a escala nanométrica muchos sistemas presentan comportamientos nuevos e inesperados comparados con lo que se esperaría según las leyes que rigen a escalas mayores.

Desde el punto de vista tecnológico, la capacidad de miniaturización e integración que conlleva la Nanotecnología abre nuevos horizontes en multitud de aplicaciones. El diseño a medida de la materia a nivel atómico permitirá elaborar nuevos materiales con características muy superiores a los conocidos hoy en día. Un control de los procesos fundamentales que rigen a escala nanométrica implicaría la posibilidad de inducir procesos de autoensamblaje que conduzcan a la síntesis de nuevos materiales y dispositivos funcionales. Finalmente, es importante reseñar que muchos fenómenos físicos, químicos y biológicos están determinados por procesos que se originan a escala nanométrica. La forma en la que se seca una capa de pintura, el crecimiento de gotas, reacciones químicas y procesos biológicos y un sinnúmero de fenómenos dependen de las interacciones entre átomos, moléculas, agregados de tamaño nanométrico y superficies cercanas. La fricción, que genera pérdidas millonarias tanto por los efectos de desgaste como por la pérdida de energía asociada, ocurre entre millones de contactos de tamaño nanométrico. Todos estos fenómenos tienen su “origen” a escala nanométrica aunque sus efectos se manifiesten también a escalas mucho mayores. Este tipo de fenómenos que cubre escalas muy amplias (tanto temporales como espaciales) son complejos y en general todavía no están entendidos en detalle. Una mejor comprensión a escala nanométrica de los procesos fundamentales que los determinan implicaría una mejor comprensión de sus efectos a escala micro y macroscópica con el consiguiente potencial tecnológico.

En el caso paradigmático de la industria de microelectrónica – cuyo nombre ya está desfasado, pues los dispositivos y las correspondientes conexiones actualmente tienen unas dimensiones de tan sólo 100 nm – la Nanotecnología no es una ciencia de interés para un lejano futuro, sino un reto científico y tecnológico en un futuro cercano. Extrapolando la tendencia a la miniaturización que esta industria ha conseguido mantener durante los últimos 80 años, se advierte que las dimensiones de futuros dispositivos electrónicos serían del orden del nanómetro hacia el año 2020 y de dimensiones subatómicas hacia el año 2040. Es evidente que el camino clásico de la miniaturización de los dispositivos actuales seguido durante las últimas 7 décadas está llegando a su fin, tanto en lo que se refiere a los principios básicos en los que se fundamentan, como los métodos empleados para su fabricación. Para poder seguir el ritmo de avances en este campo es fundamental disponer de una base sólida de conocimientos en el área de la Nanotecnología tanto en su vertiente básica como en la aplicada y tecnológica.

La investigación en el campo de la Nanotecnología está entre las áreas prioritarias de los estados industrializados. El primer gran impulso institucional para la nanotecnología fue el anuncio de un ambicioso programa de fomento a este campo por parte del entonces presidente Clinton hace unos cuatro años [2]. Este año EEUU invertirá unos 710 millones de dólares, seguidos en cuantía de inversión por la Unión Europea y Japón.

En la Unión Europea, la Nanotecnología es un tema prioritario dentro del Sexto Programa Marco, en el que no sólo tiene dedicado el área prioritaria III (“*Nanotechnologies and nanosciences, knowledge-based multifunctional materials and new production processes and devices*”), sino que también aparece indirectamente en varias otras áreas prioritarias.

2. Microscopía de Campo Cercano y Nanotecnología

La Nanotecnología es una rama de la ciencia marcadamente interdisciplinar. La física, la química y la biología tienen un punto de encuentro a la escala del nanómetro. En la Nanotecnología confluyen diferentes visiones de investigación y de entender la naturaleza, así como diferentes metodologías científicas y técnicas experimentales. No obstante, una de las técnicas que han contribuido en mayor grado al desarrollo de la Nanotecnología es la microscopía de campo cercano, y, sin duda alguna, la relevancia de estas técnicas seguirá aumentando. Este tipo de instrumentos permite el análisis, la visualización e incluso la modificación de superficies a escala nanométrica y atómica. Por ello, se han convertido en una herramienta fundamental para la Nanotecnología. Entre los aspectos más relevantes de estas técnicas se encuentran:

- La caracterización y el análisis de objetos nanométricos
- Su uso como instrumento de investigación para estudiar procesos fundamentales a escala nanométrica
- La capacidad para modificar objetos a escala atómica y nanométrica.

Sin lugar a dudas, la modificación de objetos es la funcionalidad más cercana a la idea tradicional de “herramienta”. No obstante para el desarrollo de la Nanotecnología a medio y largo plazo, los otros dos aspectos se consideran igualmente importantes.

La caracterización precisa y reproducible de propiedades físicas es un pre-requisito fundamental para el avance científico y tecnológico en el sistema de *Investigación, Desarrollo e Innovación*. Esto es cierto, tanto durante las fases iniciales de investigación básica y aplicada como para las posteriores de desarrollo de prototipos, así como la de control de calidad en la fase final de explotación y comercialización. En el caso de la Nanotecnología, los microscopios de campo cercano representan ya instrumentos capaces de determinar de forma fiable longitudes a escala nanométrica. A este objetivo ha contribuido no sólo la comunidad científica en general, sino también el esfuerzo coordinado de diferentes institutos metrologógicos. Como fruto de este esfuerzo, los microscopios de campo cercano permiten no sólo la determinación precisa de dimensiones a escala nanométrica, sino también la extensión de la definición de rugosidad de superficies hasta dimensiones atómicas.

En principio, los microscopios de campo cercano pueden medir además de longitudes, toda una serie de propiedades físicas e incluso químicas a escala nanométrica. Los microscopios de campo cercano se han utilizado para medir propiedades magnéticas (p.e. caracterización de cabezas lectoras para discos duros y de las películas magnéticas) y eléctricas (p.e. caracterización del funcionamiento de circuitos integrados) en la última generación de dispositivos utilizados para el almacenamiento y procesamiento de datos. Sin embargo, para la determinación de propiedades ópticas, eléctricas, magnéticas y mecánicas los microscopios de campo cercano todavía no constituyen una técnica establecida, fiable y calibrada. No obstante, tanto el potencial como la expectativa de esta técnica en este contexto son muy importantes.

Otra de las funciones de los microscopios de campo cercano es su uso como instrumento de investigación. Actualmente ésta es su aplicación más generalizada. En el contexto amplio de la Nanotecnología es importante recordar que al margen de demostrar la posibilidad de mover átomos uno por uno de manera controlada [3], hoy por hoy la investigación básica en Nanotecnología es un requisito fundamental a medio y largo plazo. Es necesario entender los fenómenos y las interacciones relevantes a esta escala y ampliar la base de conocimientos para disponer de un repertorio amplio de recursos que permita desarrollar tecnología, dispositivos y materiales a escala nanométrica. Es una convicción generalizada que la fabricación de materiales y dispositivos nanométricos deberá basarse en el autoensamblaje, y no en la forma tradicional de fabricar dispositivos ensamblando uno por uno sus componentes individuales. En consecuencia, el estudio de los procesos y las condiciones que determinan estos procesos de autoensamblaje deben ser un eje central para la Nanotecnología.

La estructura, la estabilidad y la dinámica de sistemas nanométricos está determinada fundamentalmente por fuerzas moleculares e intermoleculares. Los microscopios de campo cercano, y en particular, el microscopio de fuerzas, son capaces de determinar este tipo de fuerzas. Además, el sistema punta-muestra de un microscopio de campo cercano representa un sistema modelo para estudiar este tipo de interacciones.

3. Prioridades temáticas

Por lo expuesto anteriormente, la microscopía de campo cercano representa una herramienta esencial para la Nanotecnología. Por ello se considera que su desarrollo y potenciación deben constituir una prioridad estratégica dentro de un programa de Nanotecnología. Se considera necesario impulsar la microscopía de campo cercano en varias direcciones. Por un lado, se debe seguir avanzando en el aspecto instrumental hasta alcanzar los límites teóricos de la técnica. Por otro lado, se debe mejorar el aspecto de la fiabilidad y la reproducibilidad de sus resultados y en concreto en lo referido a la caracterización de diferentes propiedades físicas. Otro aspecto importante es convertir la microscopía de campo cercano en una técnica de uso fácil y general al alcance no sólo de un grupo reducido de expertos. Finalmente, se debe potenciar la interdisciplinariedad de la técnica. Para lograr estos objetivos, se propone un conjunto de aspectos prioritarios a resolver dentro del campo de la microscopía de campo cercano que abarcan tanto cuestiones básicas como puntos tecnológicos concretos. Estos objetivos están centrados en torno a los siguientes ejes temáticos: *teoría, interacciones, caracterización de materiales, instrumentación y control*, así como la *interdisciplinariedad*, que se detallan a continuación.

3.1 Teoría

Se considera fundamental desarrollar modelos y teorías para lograr una comprensión detallada a nivel atómico de la interacción punta-muestra. Los modelos teóricos deberán no sólo reproducir los datos experimentales sino también tener capacidad predictiva. Servirán de apoyo para la interpretación correcta de datos experimentales y constituirán el marco teórico para lograr un análisis cuantitativo de propiedades de materiales a escala nanométrica.

3.2 Interacciones

El funcionamiento de los microscopios de campo cercano se basa en la interacción entre la punta y la muestra. Una mejor comprensión y un mejor control de esta interacción resultará en un mejor funcionamiento de los microscopios de campo cercano y una mejor interpretación de los datos adquiridos. Esta interacción depende no sólo de la distancia punta-muestra, sino también de las propiedades físicas de ambos, así como del medio que los separa. Tanto para el análisis cuantitativo de materiales, como para la manipulación de objetos, el conocimiento de la interacción punta-muestra es la magnitud relevante. Se propone potenciar el estudio en profundidad de esta interacción para diferentes geometrías, materiales punta-muestra, campos aplicados y medios de separación.

3.3 Caracterización de Materiales

Al margen de la caracterización topográfica y estructural a nivel nanométrico, los microscopios de campo cercano tienen el potencial de determinar las propiedades ópticas, eléctricas, magnéticas y mecánicas de las muestras a estudiar. Actualmente, la determinación fiable y reproducible de estas propiedades en base a los datos obtenidos mediante microscopía de campo cercano es una tarea difícil. Se debe avanzar en este aspecto de la microscopía de campo cercano (en este punto, es importante también la contribución de los apartados *interacciones e instrumentación*).

3.4 Instrumentación y Control

En muchos casos, la sensibilidad y la resolución de los actuales microscopios de campo cercanos está todavía lejos de los límites físicos de la técnica. Se propone avanzar en el desarrollo de una nueva generación de microscopios capaces de operar al límite físico de la técnica. Asimismo para lograr el análisis cuantitativo de muestras a escala nanométrica es necesario por un lado la adquisición simultánea de diferentes magnitudes y por otro el desarrollo de nuevas técnicas de medida que permitan analizar la variación lateral de la interacción

punta-muestra. Sería deseable el desarrollo integrado de microscopios de campo cercano combinados con otras técnicas experimentales, y en concreto con técnicas ópticas. Desde el punto de vista de control de los equipos, es fundamental avanzar en la optimización automática de los parámetros necesarios para la correcta operación de los microscopios de campo cercano.

3.5 Interdisciplinaridad

La interdisciplinaridad de la nanotecnología debe alcanzar también a la microscopía de campo cercano. Para ello, se debe por un lado potenciar el desarrollo de instrumentos y del software correspondiente con el fin de simplificar el uso de esta técnica y su aplicación en diferentes campos de la ciencia. Por otro lado, se debe fomentar la extensión de la técnica a través de cursos y congresos, de formación de personal técnico y una rápida difusión de los resultados de la investigación. Desde un punto de vista de la rentabilidad del esfuerzo invertido en el desarrollo de la microscopía de campo cercano es fundamental que los correspondientes resultados estén a disposición del más amplio colectivo científico posible.

4. Referencias:

- [1] “There's Plenty of Room at the Bottom”, Conferencia de Richard Feynman, 29 de Diciembre 1959.
- [2] <http://itri.loyola.edu/nano/IWGN.Research.Directions/>
- [3] “Confinement of electrons to quantum corrals, on a metal surface”. M.F. Crommie, C.P. Lutz, D.M. Eigler. Science 262, 218-220 (1993).

INFORME SOBRE AUTOAGREGACIÓN EN SISTEMAS TENSIOACTIVOS

Conxita Solans

Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona (C.S.I.C.)

Arturo López-Quintela

Universidad de Santiago de Compostela

1. Introducción

Las moléculas tensioactivas (anfífilas) se autoagregan en solución (mediante interacciones de tipo Van der Waals, iónicas, etc.) dando lugar a nanoestructuras con distintos grados de curvatura y distintas morfologías y funcionalidades. Dichas nanoestructuras (micelas, microemulsiones, cristales líquidos, vesículas, nanoemulsiones, etc.) se asocian (o disocian) en escalas de tiempo que pueden variar entre varios órdenes de magnitud. Pueden solubilizar tanto compuestos hidrófilos como lipófilos, y además poseen una gran área interfacial. Por todo ello constituyen medios de reacción idóneos para el control de la morfología de materiales nanoestructurados y la síntesis de productos de alto valor añadido. Actuando como nanoreactores pueden ampliar considerablemente la capacidad de síntesis de una gran variedad de moléculas, ya sea en procesos químicos o enzimáticos. Además, los procesos de autoagregación en sistemas tensioactivos, son procesos “limpios” en el sentido de que se pueden llevar a cabo en condiciones suaves de presión y temperatura, no se requiere el empleo de disolventes contaminantes y no se precisan equipos complejos y costosos.

2. Estado del arte (últimos avances en el campo, grupos relevantes, etc.)

2.1 Últimos Avances

En la síntesis de materiales cerámicos mesoporosos:

- Las investigaciones se han dirigido a conocer los mecanismos de dichas síntesis pues existen relaciones muy complejas entre la naturaleza y morfología de los agregados tensioactivos y las características de los productos obtenidos.
- Se han utilizado distintas fases de cristales líquidos liotrópicos (laminares, hexagonales, cúbicas) para obtener monolitos con dichas estructuras.
- Se han obtenido materiales con estructuras duales macro- y mesoporosas, utilizando respectivamente emulsiones altamente concentradas y tensioactivos copolímeros de tipo bloque como plantillas.

En la preparación de polímeros mediante sistemas tensioactivos:

- Se han conseguido polímeros con orden en varias escalas de longitud y morfologías tubulares, vesiculares, etc.
- Se han conseguido hidrogeles con estructuras altamente porosas y elevada resistencia mecánica.

En la cristalización controlada de nanopartículas inorgánicas:

- Se han preparado esféricas y no esféricas (triangulares, tubulares e irregulares) induciendo ligeras variaciones en la microestructura del medio de reacción desde micelas (o microemulsiones) inversas a estructuras laminares o vesiculares.
- Se han sintetizado nanotubos altamente ordenados mediante electrodeposición en sistemas tensioactivos.
- Se han descrito estrategias utilizadas en el ensamblado de nanopartículas durante la biomineralización.

2.2 Grupos Relevantes

En España, los investigadores de esta área se han agrupado dando lugar al “Grupo Especializado de Coloides e interfases” (GECI) de la RSEQ y RSEF. El GECI que se constituyó en 1993 consta de unos 80 miembros que pertenecen a distintas Universidades Españolas y al CSIC. El actual Presidente del GECI es el Prof. Arturo López Quintela (Universidad de Santiago de Compostela). El GECI celebra reuniones cada dos años contando con la asistencia de 100-130 participantes. Asimismo ha puesto en marcha desde el curso 2001-02 un Programa

Interuniversitario de Doctorado de “Ciencia y Tecnología de Coloides e Interfases” que ha recibido recientemente la mención de calidad.

Existe además la “Xarxa Temàtica de Sistemes Col·loïdals” (Red Temática de Sistemas Coloidales) creada en el marco de la Dirección General de Investigación de la “Generalitat de Catalunya” en 1997 y coordinada por la Dra. Conxita Solans (IIQAB/CSIC). Dicha red está formada por grupos de la Universidad de Barcelona (UB), Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), Universidad de Lleida (UdL) así como de las Universidades francesas de Bordeaux, Pau y Toulouse. A dicha red también se hallan asociados, grupos de las Universidades de Yokohama (Japón), California Santa Bárbara (USA) y Guadalajara (México).

Como grupos relevantes en el resto del mundo cabe destacar: U. Lund (B. Lindman), U. Bristol (B. Vincent), U. Paris (M.P. Pileni), MPI (M. Antonietti), MPI (F. Schüth), U. Bayreuth (H. Hoffmann), U. Köln (R. Strey), U. Southampton (G. S. Attard), YNU (H. Kunieda), UCSB (B. Chmelka, Stucky), UG (J. Puig).

3) Actuaciones por desarrollar en España en el plazo 2004-2007

- o Fomentar la investigación interdisciplinaria de los procesos de autoagregación con el fin de desarrollar nuevos agregados nanoscópicos.
- o Favorecer la coordinación de distintos grupos investigadores de la Universidad, OPI's e Industria con complementariedad de experiencias e intereses para evitar la fragmentación actual en este campo.
- o Formación de doctorandos e investigadores mediante cursos específicos a nivel de doctorado y postdoctorado.
- o Desarrollar nueva instrumentación para seguir los procesos de autoagregación.

4) Conclusión

Sería deseable que la red Nanospain pudiera influir en los contenidos del nuevo Plan Nacional de I+D+I y que se reconozca la importancia de la investigación en esta área y el potencial de los equipos españoles.

5) Referencias

- P. Yang, D. Zhao, D. I. Margolese, B. F. Chmelka, G. D. Stucky, *Nature*, 396 (1998), 152.
M. Antonietti, B. Berton, C. Götner, H. P. Hentze, *Adv. Materials* 10 (1998), 154.
F. Schüth, *Ordered Mesoporous Materials*-, A. Galarneau, F. Di Renzo, F. Fajula, J. Védrine, (Eds.), Elsevier Science, New York (2001).
M. P. Pileni, *J. Phys Chem B* 105(2001)3358.
J.E. Puig, J. C. Sánchez-Díaz, M. Villacampa, *J. Colloid Interface Sci.* 235(2001)278.
M. A. López-Quintela, A. Akahane, C. Rodríguez, H. Kunieda, *J. Colloid Interface Sci.* 247(2002)186.
V.T. John, B. Simmons, G.L. McPherson, A. Bose, *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 7 (2002), 288-295.
J. Esquena, G.S.R.R. Sankar, C. Solans, *Langmuir* 19, (2003), 2983.
L. Espelt, P. Calpés, J. Esquena, A. Manich, C. Solans, *Langmuir*, 19 (2003), 1337-1346.
M. Maekawa, J. Esquena, S. Bishop, C. Solans, B. F. Chmelka, *Adv. Mater* 15(2003) 591.
M. A. López-Quintela, *Current Opinion in Colloid & Interface Science* (2003).

INFORME SOBRE LA IMPORTANCIA DE LA METROLOGÍA EN NANOTECNOLOGÍA

Emilio Prieto Esteban
CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA
Jefe del Área de Longitud

En abril de 2002, dentro del V Programa Marco para I+D de la UE, el *High Level Expert Group (HLEG) on Measurement and Testing* redactó un documento titulado “*The need for measurement and testing in nanotechnology*”.

La finalidad de dicho documento no era otra que la de identificar nuevas necesidades de I+D en Metrología, como forma de dar respuesta a las demandas surgidas en el campo de las nanotecnologías. No debe olvidarse que el garantizar características de diseño (cotas de fabricación, formas y estados superficiales) a escala nanométrica pasa por la medición de dichas características, no siendo fácil contar con un *ratio* tolerancia/incertidumbre de medida adecuado para tomar decisiones en este campo.

Desde un punto de vista metrológico, y más concretamente desde el ámbito de la metrología dimensional, por nanometrología se entiende *la ciencia y práctica de la medida de dimensiones y características de objetos, distancias y desplazamientos, en el rango de 1 nm a 1000 nm (1 μ m)*. Esta definición fue acordada por el *Discussion Group 7 (DG7)* perteneciente al Grupo de Trabajo sobre Metrología Dimensional (WGDM) del Comité Consultivo de Longitud (CCL) del Bureau Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), al que pertenece el abajo firmante.

Este Grupo lleva cinco años trabajando en la búsqueda y desarrollo de aquellos patrones y técnicas metrológicas que la industria de las nanotecnologías requiere para su propio desarrollo. Si determinadas nano-fabricaciones no pueden medirse, o si la incertidumbre asociada al resultado de medida es demasiado alta o incluso desconocida, por la no-introducción de criterios metrológicos en los procesos de caracterización, no podrá garantizarse ni el cumplimiento de las especificaciones de diseño, ni las prestaciones dependientes de éstas.

Recientemente han concluido algunos estudios y comparaciones entre Institutos Nacionales de Metrología, iniciadas, al igual que se hace en el mundo de lo macro, con objeto de comprobar la compatibilidad existente a nivel mundial en este tipo de mediciones de gran exactitud. Dichas comparaciones se centraron en una primera fase en patrones tales como *line scales, grating pitches* y *depth setting standards*. Nuevas comparaciones, a establecer en la próxima reunión del DG7, los días 2 y 3 de agosto de 2003, en San Diego, tratarán de incorporar la medición de *artefacts for X-ray optical interferometers, linear displacement transducers, object micrometers* y *silicon single atom step-height artefacts*.

A pesar de la naturaleza multidisciplinar y multisectorial de la nano-ciencia, la nanometrología ha decidido centrarse por el momento en unos cuantos desarrollos genéricos, que pueden resolver problemas de medida comunes a los distintos sectores industriales, tales como Ingeniería de Precisión, Micro- y opto-electrónica, y Tecnología Bio-molecular.

La mayoría de las manipulaciones que se realizan en nanotecnología pasan por el uso, entre otros instrumentos, de SPMs, ya sean de efecto túnel propiamente dicho, de fuerza atómica, o de cualquiera de las variantes existentes, empleando asimismo distintas técnicas de interacción con las muestras. Por ello, no es de extrañar que se trabaje en la obtención y caracterización metrológica de los patrones a emplear en el ajuste y calibración de este tipo de instrumental, dotándolo así de trazabilidad a la unidad de longitud del Sistema SI, en la idea básica de ser científicamente riguroso tanto en los procesos de fabricación, como en la demostración de hipótesis científicas (I+D). Además de lo anterior, el aspecto metrológico incluye también la producción de

normas escritas, el desarrollo de prototipos y nueva instrumentación científica y el establecimiento de métodos de medición validados.

El estudio del HLEG presenta una postura común sobre la importancia del desarrollo de técnicas de medición adecuadas a las exigencias de las nanotecnologías, recomendando a la Comisión Europea que considere la metrología como parte integral de la ERA (European Research Area), en la búsqueda de una mejora de la competitividad europea, dentro de un escenario global, y de las condiciones de vida de los ciudadanos europeos.

En línea con lo anteriormente expuesto, también el seminario MEMSTAND celebrado en Barcelona el pasado mes de febrero, y que se ocupó de las tres facetas básicas de cualquier innovación: el diseño, la fabricación y la metrología, señala entre sus conclusiones la necesidad de formar una masa crítica entre las partes interesadas en el campo de las nanotecnologías, y el establecimiento de grupos nacionales que trabajen conjuntamente con los de otros países para avanzar en las distintas facetas del desarrollo. Este sería, en España, el caso de la red NANOSPAIN.

Uno de los desencantos de este seminario fue la poca presencia de representantes de la industria (en torno a un 10% de los asistentes), cuando es claro que cualquier avance, por ejemplo en el campo de la normalización, requiere una mayor presencia de la industria, lo cual redundará en su propio beneficio. Analícese por ejemplo, el caso de las empresas de telecomunicación, las cuales han pugnado por mantener sus propias línea de actuación, sin unirse a otras para normalizar características técnicas. De esta forma han renunciado a un beneficio común, y todas han visto descender su cuota de mercado, a partir de la desconfianza surgida entre los consumidores potenciales.

Es muy interesante también estudiar el apartado dedicado a Metrología, dentro del *Report on the analysis of the MEMSTAND survey on Standardization for Microsystems Technology*, del cual tomamos los siguientes datos:

Grado de caracterización de elementos antes de su uso o venta:	87%
Mediciones más comunes:	Dimensiones y formas (31%) Propiedades de materiales (20%) Funcionalidad (20%)
Procesos de medida más utilizados en fabricación:	Microscopía óptica (13%) Scanning electron microscopy (11%) Mediciones dimensionales clásicas (9%) Medición tridimensional sin contacto (9%) SPMs (9%) Perfilometría de contacto (9%) Interferometría (8%) Medición tridimensional con contacto (8%)
Importancia dada a la trazabilidad al Sistema SI de unidades:	89%
Formas de obtención de trazabilidad:	de Laboratorio Nacional de Metrología (34%) de Laboratorios acreditados (27%)(*) de patrones de la empresa (26%) sin trazabilidad (6,5%)
Mercados primarios a los que se dirigen los productos:	Tecnología de Sensores (31%)

Los datos anteriores hablan por sí solos acerca de la importancia de medir correctamente, con trazabilidad al Sistema SI, sin que sea necesario añadir nada.

(*) Los laboratorios acreditados obtienen la trazabilidad del Lab. Nal. de Metrología, y los de la empresa, a su vez, de los acreditados. Véase entonces la importancia del Lab. Nal. de Metrología, como garante final de la bondad de las fabricaciones.

Creemos, en resumen, que con este breve informe se destaca la importancia que tiene la Metrología en el campo de las nanotecnologías y, en general, en todos los campos del desarrollo, incluyendo la I+D, y la necesidad de que el resto de los intervinientes en estas nuevas tecnologías, ya de presente, deban tenerla en cuenta, si quieren demostrar fehacientemente y de forma objetiva, dentro de un mercado global, la calidad de sus desarrollos.

Es pues nuestro deseo que, mediante esta contribución y las de nuestros socios en NANOSPAIN, el Plan Nacional de I+D+I 2004-2007 considere esta realidad y establezca las acciones oportunas encaminadas a coordinar el esfuerzo de todos los actores (investigadores, diseñadores, fabricantes, metrólogos), a través de sus respectivas Instituciones (Universidades, Empresas, OPIs, CEM, ...), de forma que el potencial existente en España, demostrable sólo con acudir al listado de miembros de la red NANOSPAIN, se aproveche de la forma más efectiva, en bien de la ciencia y la industria españolas y del papel que ambas pueden jugar en Europa y el resto del mundo.

Nanotecnología/Nanociencia en la Comunidad Autónoma de Galicia
José Rivas
Universidad de Santiago de Compostela

1) Introducción

En nuestra comunidad se encuentran en estos momentos trabajando en Nanociencia y Nanotecnología un total aproximado de 10 grupos de calidad correspondientes a las tres universidades gallegas. Estos grupos están repartidos en las áreas de Física Aplicada, Química Física, Química Inorgánica, Ingeniería Técnica, Química **Orgánica y Tecnología Farmacéutica**. **Se detecta además una aproximación creciente de otros grupos de calidad** hacia estos temas (Óptica, Microbiología, Fisiología, Genética, etc.) que probablemente converjan con los grupos anteriores en un futuro próximo. La muy probable aprobación de la red gallega de Nanotecnología por la Xunta de Galicia –muy interesada en el tema, a la vista de su gran importancia- servirá de catalizador para la unión definitiva de estos grupos. Una vez aprobada esta red gallega, su integración en NanoSpain permitirá abrir los horizontes de nuestra comunidad a nivel nacional.

Aunque por el momento la implicación industrial/empresarial en este campo es limitada, algunos de los grupos involucrados, con amplia conexión industrial (Medicina, Farmacia, etc) hacen previsible un mayor acercamiento de algunas empresas punteras hacia la nanotecnología. En este sentido cabe destacar que la Xunta de Galicia ha encargado un estudio prospectivo sobre la importancia de las Tecnologías de los Materiales en la Comunidad autónoma gallega hasta el 2015. La tecnología de los nano y micromateriales parece que puede ocupar un lugar importante en los sectores Farmacéutico-Sanitario, Químico, Equipos y Operadores de Telecomunicaciones, Automoción, Sector Naval y Bienes de Equipo.

En resumen, la parte importante relacionada con la Nanociencia y Nanotecnología se encuentra principalmente centrada en las universidades, aunque es previsible que en un futuro próximo se involucren más algunos sectores industriales.

2) Estado del arte (últimos avances, grupos relevantes, etc.)

Dos son los aspectos claves relacionados con la síntesis de nanomateriales en las nuevas nanotecnologías que utilizan la aproximación “desde abajo” (“bottom-up”). En primer lugar, la síntesis precisa de las unidades elementales que van a configurar el nanomaterial. En la actualidad se dispone de diferentes métodos por vía húmeda (“química suave”) para preparar estas unidades elementales (microemulsiones, organometálicos, surfactantes, técnicas electroquímicas, copolímeros de bloque, etc.). Estas técnicas permiten obtener partículas no solo de una gran variedad de materiales (metales, óxidos, semiconductores, etc.) y formas (esféricas, cilíndricas, cúbicas, triangulares, piramidales, etc.) sino que también permiten la obtención de partículas rodeadas de capas de diferentes materiales (conductores, aislantes, magnéticos, etc.). La mayor parte de los métodos son únicamente a escala de laboratorio y el reto en este campo es lograr técnicas que permitan su fácil implementación a mayor escala, a la vez que se reduzcan el número de pasos necesarios para obtener las unidades elementales (por ejemplo, eliminando la precipitación fraccionada que se requiere en la mayor parte de las técnicas para disminuir la polidispersidad de las muestras). Dentro de este apartado es muy importante la pasivación/protección selectiva de las partículas, de forma que se puedan obtener dispersiones estables en diferentes tipos de disolventes y con funcionalidades adecuadas para las aplicaciones que se precisen. La combinación de técnicas fisicoquímicas con las tradicionales de síntesis orgánica/inorgánica será clave en este desarrollo.

Un segundo aspecto importante es el ensamblado de las unidades elementales. En este apartado hay dos estrategias fundamentales: el autoensamblado y el ensamblado forzado. El primero de los métodos –de gran atractivo, pues es espontáneo- tiene de momento el problema de que solo se logran ensamblados de tamaño muy reducido (nanométrico) y los pocos casos en los que se han logrado tamaños macroscópicos (micrométricos) la reproducibilidad es muy difícil. El segundo de los métodos utiliza diferentes estrategias: mediante técnicas conocidas como Langmuir y Langmuir-Blodgett o bien, técnicas todavía en fase de desarrollo, como copolímeros de bloque, sílica mesoporosa, alúmina anodinada electroquímicamente, etc. Independientemente de la técnica de ensamblado utilizada, la riqueza de comportamientos de los nanomateriales obtenidos es

impresionante, por lo que es preciso el diseño de estrategias específicas para las aplicaciones que se deseen, si se quiere ir más allá de los puros estudios científicos, de por sí muy interesantes.

En cuanto a las aplicaciones de que pueden ser objeto los materiales nanoestructurados, cabe destacar su interés creciente en el campo de la farmacia y medicina. Así, en estos momentos existen en la USC investigadores que están diseñando nanopartículas complejas capaces de liberar fármacos, proteínas y genes de un modo controlado a la vez que presentan una interacción favorable con determinados tipos de células. Estos tipos de partículas permiten superar barreras biológicas consiguiendo la liberación del fármaco que llevan asociado en el órgano diana.

3) Grupos relevantes:

En la Comunidad de Galicia existe un sustrato reducido pero de calidad en el campo de la preparación de unidades elementales nanoscópicas, con métodos desarrollados en los propios grupos para obtener partículas nanométricas (aprox. $> 1\text{nm}$) de diferentes materiales rodeadas por una capa/varias capas de otros materiales. Se observa una tendencia en esos grupos de vanguardia hacia el ensamblado con fines más o menos específicos, pero de momento fundamentalmente científicos. Asimismo, destaca la creciente aplicación de nanoestructuras a la liberación de fármacos y la implicación del sector farmacéutico industrial en esta línea. Tal como se mencionó anteriormente, se espera que estos grupos puedan servir de centros de nucleación de otros grupos de calidad que pueden aportar nuevas ideas y posibilidades de acción a los ya existentes.

4) Actuaciones por desarrollar en España en el próximo trienio/quinquenio

- Desarrollar/optimizar métodos de síntesis de nanopartículas de diferentes formas y composición que sean sencillos y de fácil implementación industrial. Algunos de los procedimientos irán dirigidos al sector farmacéutico-sanitario, lo que limitará el uso de materiales a aquéllos que sean biocompatibles y fácilmente asimilables por el organismo.

- Desarrollar procedimientos de funcionalización de las nanopartículas mediante métodos orgánicos/inorgánicos que permitan la conexión de las nanopartículas a diferentes tipos de sustratos, como base previa a su implementación en dispositivos de aplicación. Se contempla además la utilización de sustratos biológicos a fin de evaluar el interés de las nanopartículas para la vehiculación de fármacos y compuestos biotecnológicos a diferentes tipos celulares.

- Estudios de las propiedades ópticas, eléctrica, magnéticas y biofarmacéuticas, de ensamblados de nanopartículas, en función del tipo de ensamblado.

Para ello, se requiere dar un paso más en la interdisciplinariedad de los grupos. Dado que en la actualidad no existen medios explícitos para ello, sería de gran importancia la posibilidad de disponer de investigadores altamente cualificados para un desarrollo de esas áreas interfacultativas. Creemos que se debería abrir un programa específico para la contratación de investigadores (tanto nacionales, como fundamentalmente extranjeros) a nivel de postdocs, para tareas muy específicas necesarias en esos campos.

5) Referencias

- M. A. López-Quintela, J. Rivas, Anales de la RSEQ, -especial Centenario-, en prensa.
R.F. Service, P. Szuromi, J. Uppenbrink, Science, 2002, 295, 2395 y trabajos subsiguientes.
V. Lehman, Nature materials, 2002, 1, 12.
L.M. Liz-Marzán, P.V. Kamat (Eds.) "Nanoscale Materials", Kluwer Academia Publ. Boston, 2003.
M. Lazzari, M.A. López-Quintela, Adv. Mat., 2003, in press.
K.A. Janes, P. Calvo, M.J. Alonso, Adv. Drug Del. Reviews, 2001, 47, 83.