



# Aplicaciones Industriales de las Nanotecnologías en España en el Horizonte 2020

Estudio de Prospectiva



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, TURISMO  
Y COMERCIO



Fundación **OPTI**

Observatorio de  
Prospectiva Tecnológica  
Industrial







The page features several decorative geometric shapes in dark blue and maroon. In the top left, there is a dark blue square partially cut off by the edge, with a maroon square below it. To the right, another dark blue square is partially cut off, with a maroon square below it. In the bottom left, there is a tall maroon rectangle, a dark blue square, and a maroon square. In the bottom right, there is a long dark blue horizontal bar.

# Aplicaciones Industriales de las Nanotecnologías en España en el Horizonte 2020

Estudio de Prospectiva

Fundación OPTI  
Juan Bravo, 10 - 4ª Pl.  
28006 Madrid  
Tel.: 91 781 00 76  
Fax: 91 575 18 96  
<http://www.opti.org>



El presente Estudio de Prospectiva Tecnológica ha sido realizado por la Fundación OPTI y la Fundación INASMET.

El estudio se ha llevado a cabo bajo la dirección de Gotzon Azkarate con el apoyo de Daniela Velte y Agustín Blanco. En la elaboración de la presente publicación han colaborado Pedro Serena, José Luis Viviente, Javier García, Joan Ramón Morante, José Millán, Josep Samitier y Julio Santarén.

La Fundación OPTI y la Fundación INASMET agradecen sinceramente la colaboración ofrecida por la comunidad científica y empresarial para la realización de este estudio, y en especial al Panel de Expertos que se detalla en el Anexo I.



# Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	7	4. APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN EL TRANSPORTE .....	38
2. METODOLOGÍA Y RESULTADOS GENERALES.....	9	• Temas Más Relevantes del Cuestionario .....	39
• Metodología .....	9	• Aplicaciones Estructurales .....	41
• Resultados Generales .....	10	• Superficies (multi)Funcionales .....	44
• Temas Relevantes en Función del Índice Grado de Importancia .....	19	• Propulsión .....	45
3. CUESTIONARIO DE (NANO)TECNOLOGÍAS .....	22	• Equipos de Interior.....	47
• Temas Más Relevantes del Cuestionario .....	23	• Varios .....	48
• Equipos y Técnicas de Análisis, Control y Medida..	26	• Conclusión .....	50
• Equipos y Técnicas de (nano)Fabricación, Manipulación e Integración .....	28	5. APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN LA ENERGÍA Y EL MEDIO AMBIENTE.....	51
• (nano)Materiales .....	30	• Temas Más Relevantes del Cuestionario .....	52
• (nano)Dispositivos .....	32	• Energías Renovables .....	55
• Regulación y Normalización.....	34	• Hidrógeno y Pilas de Combustible .....	57
• Conclusión .....	35	• Almacenamiento y Transporte de Energía .....	59
		• Medio Ambiente .....	60
		• Conclusión .....	62

6. APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN LAS TIC Y LA ELECTRÓNICA .....	64	8. APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN SECTORES TRADICIONALES: TEXTIL, CONSTRUCCIÓN, CERÁMICA Y OTROS .....	90
• Temas Más Relevantes del Cuestionario .....	65	• Temas Más Relevantes del Cuestionario .....	91
• Electrónica post-CMOS.....	69	• TEXTIL .....	94
• Dispositivos (Transistores y Memorias) .....	71	• Construcción .....	96
• Conclusión .....	74	• Cerámica .....	99
7. APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN LA SALUD Y LA BIOTECNOLOGÍA .....	75	• Varios .....	100
• Temas Más Relevantes del Cuestionario .....	77	• Conclusión .....	102
• Diagnósis .....	80	9. CONCLUSIONES GENERALES .....	104
• Tratamiento .....	82	ANEXOS	
• Genómica, Proteómica .....	86	Anexo I.- Panel de Expertos .....	106
• Conclusión .....	89	Anexo II.- Cuestionario con los Resultados del Estudio..	108



# Introducción

El estudio de fenómenos en la escala atómica no resulta novedoso para la ciencia, pero en las últimas décadas el interés por todas las manifestaciones de lo “nano” no deja de crecer a un ritmo exponencial.

Los progresos incuestionables en las técnicas de análisis y manipulación de átomos y moléculas, el descubrimiento de comportamientos nuevos y de propiedades inusitadas de la materia imputables a su dimensión nanométrica, y el potencial fabuloso de explotar todas estas manifestaciones en aplicaciones que pueden revolucionar nuestras vidas, ha estimulado el interés de la comunidad científico-técnica y de toda la sociedad hasta convertir las nanociencias y nanotecnologías en un objetivo estratégico a nivel mundial.

De cumplirse los pronósticos actuales, los mercados que se vislumbran a futuro serán, a tenor de las muchas prospecciones realizadas a todos los niveles y en todo el mundo, no solo fabulosos (50.000 millones de \$ en 2006, >2,9 billones de \$ en 2014 en el mundo en productos que incorporan nanotecnologías; y paralelamente, el esfuerzo investigador mundial sigue creciendo cifrándose en 2006 en 11.800 millones de \$)\* sino también revolucionarios ya que muchos de los productos y aplicaciones actuales desaparecerán a favor de las nuevas soluciones que propongan las nanotecnologías.

---

\*Lux Research: Nanotech Report, 5th edition;  
<http://www.luxresearchinc.com/tnr.php>

Bajo el paraguas de las nanociencias y nanotecnologías se agrupa un conjunto de diferentes disciplinas y técnicas orientadas al estudio y manipulación de la materia a escala nanométrica. A esta escala, en la que las fronteras entre la física, la química y la biología se solapan y confunden, los conocimientos, competencias e infraestructuras necesarias favorecen claramente los enfoques 'interdisciplinarios' o 'convergentes' de esta nueva rama de la ciencia, así como su 'horizontalidad' o 'transversalidad' ya que puede ser explotada en prácticamente todos los ámbitos de actividad.

Las innovaciones basadas en la nanotecnología darán respuesta a gran número de los actuales problemas y necesidades de la sociedad, y suponen un enorme desafío para las futuras actividades industriales y económicas en las que, a menudo, ya se la considera como el motor de la próxima revolución industrial. Ante este inmenso abanico de posibilidades y tras superar la dispersión de los posicionamientos iniciales, es lícito preguntarse sobre los ámbitos en los que se está concentrando nuestro conocimiento, sobre nuestras apuestas y desafíos, sobre los riesgos asumidos, en fin, sobre las expectativas españolas de desarrollo y aplicación.

El presente estudio de prospectiva tecnológica sobre las *“APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN ESPAÑA EN EL HORIZONTE 2020”* fue planteado con el objetivo de definir una visión prospectiva realista y compartida sobre las perspectivas de aplicación de las nanociencias y nanotecnologías pero, sobre todo, a fin de identificar su potencial de desarrollo en sectores españoles con posibilidad de explotación de las mismas.

El estudio se enmarca dentro de los trabajos que la Fundación Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI) viene realizando desde 1998. Para su ejecución se ha contado con la participación de la Fundación INASMET-TECNALIA, que ha sido la responsable de dirigir y ejecutar el estudio. En el mismo, se han identificado con la ayuda del gran colectivo de expertos consultados, las (nano)tecnologías relevantes y los campos de aplicación más importantes en los sectores analizados, para que puedan ser objeto de actuaciones concretas dentro de las futuras políticas tecnológicas españolas.

Con ello la Fundación OPTI cumple uno de sus objetivos fundacionales al proporcionar información de utilidad para que los responsables de la toma de decisiones en la Administración y en las empresas puedan elaborar las estrategias de actuación más convenientes para afrontar los retos futuros.



# Metodología y resultados generales

## Metodología

El presente estudio de prospectiva persigue la identificación de las perspectivas de aplicación de las nanotecnologías en los sectores españoles con potencial de aplicación. Se trata, por lo tanto, de identificar los ámbitos de aplicación industrial que podrían tener un especial desarrollo en función de la posición en que nos encontramos y de prever las necesidades de I+D+i, a fin de definir posibles áreas de actuación que puedan servir de base de información en la toma de decisiones.

Para ello, se creó con la misión de liderar y validar el estudio, un Panel de Expertos cuya relación se da en el Anexo I,

con el triple objetivo de: a) seleccionar los principales sectores de aplicación en España y definir los temas planteados en la consulta; b) seleccionar a los expertos a consultar o Panel Consultivo; c) analizar y sintetizar los resultados obtenidos y proponer las conclusiones del estudio.

Previamente, INASMET-TECNALIA procedió a recopilar los resultados de los estudios más recientes en relación con la nanotecnología y sus aplicaciones, a fin de disponer de información inicial sobre el estado del arte en España y en otros países de referencia.

Los temas de la encuesta, definidos por el Panel de Expertos como base para consultar a los expertos seleccionados,

abordan los siguientes seis ámbitos de conocimiento y/o aplicación:

- (nano)Tecnologías: Equipos, Tecnologías, Materiales, Regulación, Normalización, utilizables en cualesquiera de los ámbitos de aplicación (37 temas).
- Aplicaciones de las Nanotecnologías en el Transporte (16 temas).
- Aplicaciones de las Nanotecnologías en la Energía y el Medio Ambiente (18 temas).
- Aplicaciones de las Nanotecnologías en las TIC y la Electrónica (23 temas).
- Aplicaciones de las Nanotecnologías en la Salud y Biotecnología (18 temas).
- Aplicaciones de las Nanotecnologías en Sectores Tradicionales: Textil, Construcción, Cerámica y Otros (12 temas).

En la consulta realizada se solicitó a los participantes que iniciaran su valoración respondiendo, en primer lugar, al primero de éstos ámbitos por considerarlo una base común de conocimiento necesario para el desarrollo de las nanotecnologías y de sus aplicaciones en cualesquiera de los otros ámbitos. En segundo lugar, se solicitó a los consultados su valoración de los temas de los otros ámbitos de aplicación en los que poseen un conocimiento experto por su trabajo o visibilidad estratégica del sector.

Los temas de cada ámbito representan una serie de hipótesis referidas a un campo de aplicación o a un avance tecnológico concreto, sobre las que se invita a reflexionar al Panel Consultivo a fin de evaluar distintos aspectos como su importancia, su grado de desarrollo futuro, el dominio

tecnológico actual y previsto, la posición y atractivo para España, y los factores críticos a resolver.

El Panel Consultivo fue identificado por: a) conominação de los miembros del Panel de Expertos garantizando la presencia de un número suficiente de personalidades relevantes y, b) a sollicitación de este mismo panel, por adición de todos los miembros de la base de expertos pública de la Red Española de Nanotecnología (Nanospain, <http://www.nanospain.org>).

Finalmente, tras la recopilación de todas las respuestas, el Panel de Expertos analizó y sintetizó los resultados obtenidos (véase Anexo II, en el que se muestran estos resultados así como el modelo de cuestionario utilizado en la encuesta), incorporando sus opiniones y comentarios, y proponiendo las conclusiones del estudio.

## Resultados Generales

### *Aplicación del Cuestionario (enviados/recibidos)*

La aplicación del cuestionario utilizado como base del estudio fue realizada a lo largo de parte del primer trimestre del 2007. A continuación se detalla el número de envíos y respuestas obtenidas, así como la tasa de respuesta:

- Número de expertos invitados: 495.
- Número de expertos que responden: 109.
- Tasa de respuesta: 22,02%.

### *Características de la Población Encuestada*

La población de expertos encuestada está compuesta por, aproximadamente, un 23,2 % de mujeres y un 76,8 % de hombres, con una edad comprendida entre los 30 y 60 años.



### Procedencia profesional

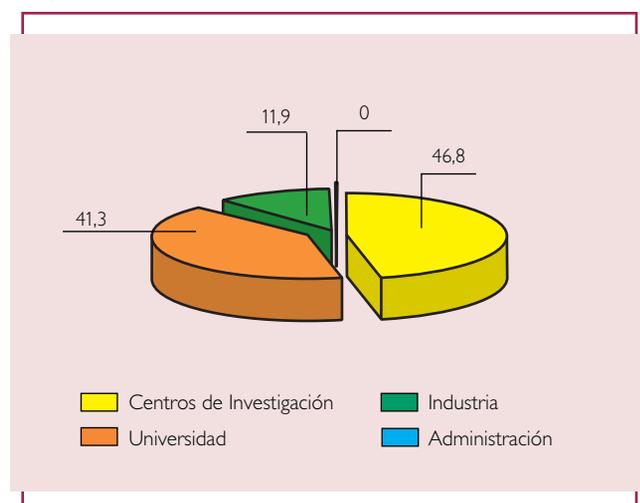
Tal como se aprecia en la **Tabla 1**, los cuestionarios fueron enviados a expertos de Centros de Investigación (31,1%), de Universidades (52,12%), de Industrias (14,3 %), de la Administración (1,0%), y de otras organizaciones (1,4%).

TABLA 1. TIPOS DE ORGANIZACIONES CONSULTADAS Y EXPERIENCIA MANIFESTADA EN LAS RESPUESTAS OBTENIDAS: VALORES ABSOLUTOS

Procedencia profesional	Destino de los cuestionarios enviados	Experiencia manifestada en los cuestionarios recibidos
Centros de Investigación	154	51
Académica (Universidad)	258	45
Industria (Empresa)	71	13
Gestión (Administración)	5	–
Otras (Asociaciones)	7	–

Las respuestas obtenidas señalan que la experiencia de los encuestados está ligada a las diferentes organizaciones según el reparto de la **Figura 1**:

FIGURA 1. EXPERIENCIA MANIFESTADA EN LAS RESPUESTAS RECIBIDAS



### Procedencia geográfica

Los 495 expertos encuestados se reparten entre las siguientes comunidades autónomas: Andalucía (5,7%), Aragón (4,4%), Asturias (2,6%), Baleares (0,2%), Canarias (1,2%), Cantabria (0,4%), Castilla La Mancha (2,6%), Castilla y León

(3,4%), Cataluña (19%), Comunidad Valenciana (6,7%), Galicia (2,8%), La Rioja (0,4%), Madrid (35,2%), Murcia (0,8%), Navarra (2,8%), País Vasco (11,7%). No obstante, tal y como se observa en la **Tabla 2**, las respuestas obtenidas modifican sensiblemente esta distribución.

TABLA 2. DISTRIBUCIÓN POR ÁREAS GEOGRÁFICAS DE LOS EXPERTOS PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO

Procedencia geográfica	Cuestionarios enviados	Cuestionarios recibidos	% de respuestas
Andalucía	28	6	5,5
Aragón	22	5	4,6
Asturias	13	3	2,8
Baleares	1	0,2	–
Canarias	6	1	0,9
Cantabria	2	–	–
Castilla La Mancha	13	3	2,8
Castilla y León	17	8	7,4
Cataluña	94	13	11,9
Comunidad Valenciana	33	10	9,1
Extremadura	–	–	–
Galicia	14	2	1,8
La Rioja	2	1	0,9
Madrid	174	33	30,3
Murcia	4	–	–
Navarra	14	5	4,6
País Vasco	58	19	17,4
<b>TOTAL</b>	<b>495</b>	<b>109</b>	<b>100</b>



## Análisis de las Variables

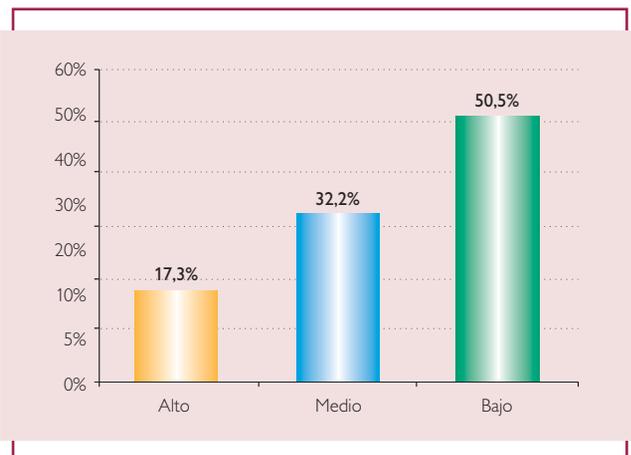
La estadística que se cita a continuación se obtiene de la agregación de las respuestas obtenidas en el conjunto de 124 temas utilizados para confeccionar los seis ámbitos de conocimiento y/o aplicación de la encuesta.

### Nivel de conocimiento

Los expertos deben valorar en cada uno de los temas el grado de conocimiento que poseen con respecto al mismo. Los porcentajes generales considerando todas las respuestas obtenidas muestran la siguiente distribución:

- Nivel de conocimiento alto: 17,3%.
- Nivel de conocimiento medio: 32,2%.
- Nivel de conocimiento bajo: 50,5%.

FIGURA 2. NIVEL DE CONOCIMIENTO

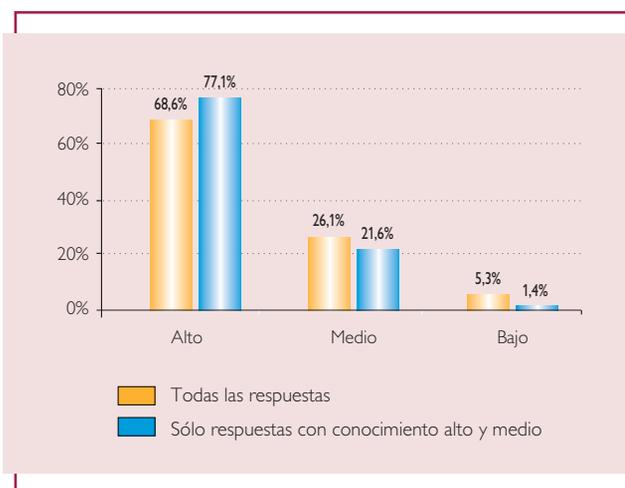


Considerando que los expertos han opinado sobre el 21,1% de temas como media, es decir, sobre unos 26; estos valores indican que, por término medio, los encuestados conocen en profundidad 4 a 5 temas, con un nivel medio otros 8 temas y, finalmente, con un nivel bajo unos 13 temas más.

## Grado de importancia

La **Figura 3** muestra el grado de importancia de los temas de la encuesta considerando tanto el conjunto total de respuestas obtenidas, como el de las respuestas que consignan un conocimiento medio o alto.

FIGURA 3. GRADO DE IMPORTANCIA DE LOS TEMAS



Se deduce que los encuestados conceden mayor importancia a los temas cuanto mayor nivel declaran poseer sobre el conocimiento de los mismos.

El valor medio del "índice grado de importancia" (IGI) calculado con todas las respuestas es de 3,62 y cuando se consideran sólo las respuestas con conocimiento alto y medio es de 3,72 en una escala que va del 1 al 4.

## Grado de Desarrollo de la Tecnología u Aplicación

El Grado de Desarrollo de cada uno de los temas propuestos ha sido valorado en el horizonte temporal considerado en función de si la tecnología u aplicación en cuestión estaba

en estado emergente (TE), alcanzaba el nivel de prototipo o demostrador (PD), estaba en fase de desarrollo industrial (DI), o bien se había alcanzado su comercialización (CM) y era accesible a los consumidores.

Las Figuras 4 y 5 recogen la opinión de los expertos contabilizando, respectivamente, todas las respuestas o sólo las respuestas de los expertos con conocimiento alto-medio, sobre el grado de desarrollo o madurez que alcanzará el conjunto de las tecnologías en cada uno de los períodos temporales contemplados.

Aunque la distribución de los pronósticos es muy similar en ambos casos, los expertos con conocimiento alto-medio consideran que los temas propuestos están más avanzados, es decir más maduros, que lo que se presupone al considerar todas las respuestas. Hasta el 2010, el 90% de los temas estarán en fase emergente o a nivel de prototipo/demostrador. Sin embargo, esta categoría cae rápidamente hasta el 45% en 2015 y 13% en 2020, dando paso progresivamente al desarrollo industrial y a la comercialización de los temas (9% en 2010, 55% en 2015 y > 87% a partir de 2020).

FIGURA 4. GRADO DE DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA O APLICACIÓN

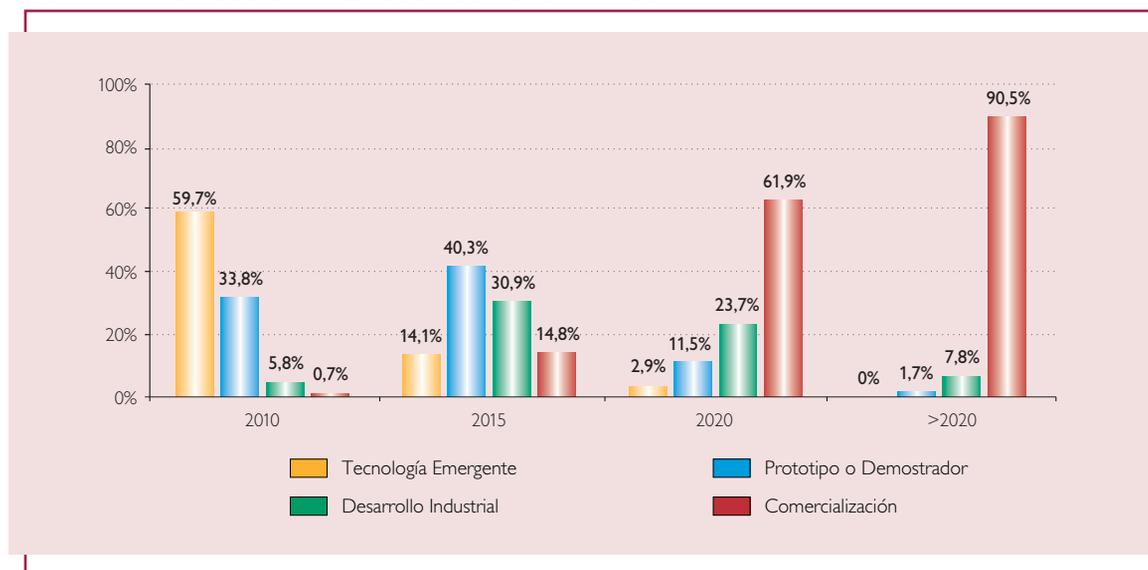
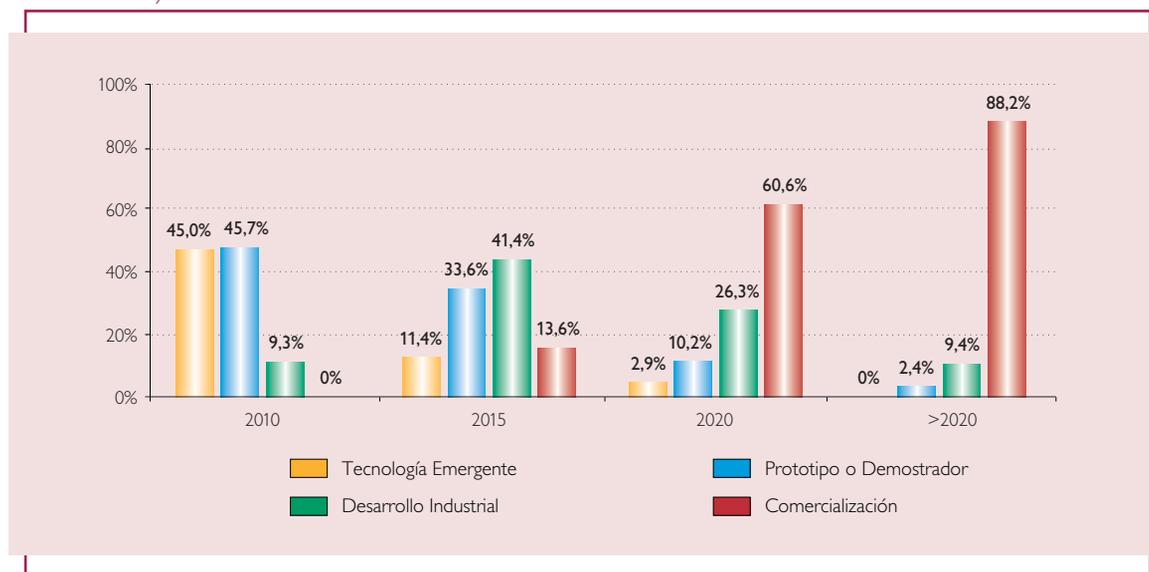




FIGURA 5. GRADO DE DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA O APLICACIÓN. (RESPUESTAS CON CONOCIMIENTO ALTO-MEDIO)



### Dominio / Dependencia Tecnológica

La evolución del Dominio Tecnológico de España en cada uno de los temas ha sido valorada en cada caso considerando si la tecnología u aplicación estaba en fase de desarrollo y sin dominio aparente de ningún país (SD), o bien si dependía en más de un 75% de desarrollos extranjeros (DE), o si se trataba de un mix en el que los desarrollos nacionales suponían más del 25% (MT), o aún más que el 75% posicionando a España como líder internacional del tema (DN).

Las Figuras 6 y 7 resumen, respectivamente, la opinión de todos los expertos o bien sólo la de los expertos que se autoevalúan con un conocimiento alto-medio.

Hasta 2010 habrá un 30% de temas sin dominio aparente de ningún país y un 60% de tecnologías u aplicaciones en las que dependeríamos del exterior. A partir de 2015, los expertos con conocimiento alto-medio consideran que la dependencia del exterior disminuirá del 53% en 2015 al 34% en 2020 y el 25% más allá de 2020. Al contrario, la situación de mix tecnológico crecerá pasando de la tercera parte de los temas en 2015 a más de la mitad a partir de 2020; y los temas con dominio tecnológico nacional crecerán ligeramente hasta llegar al 8% en 2020.

FIGURA 6. DOMINIO/DEPENDENCIA TECNOLÓGICA

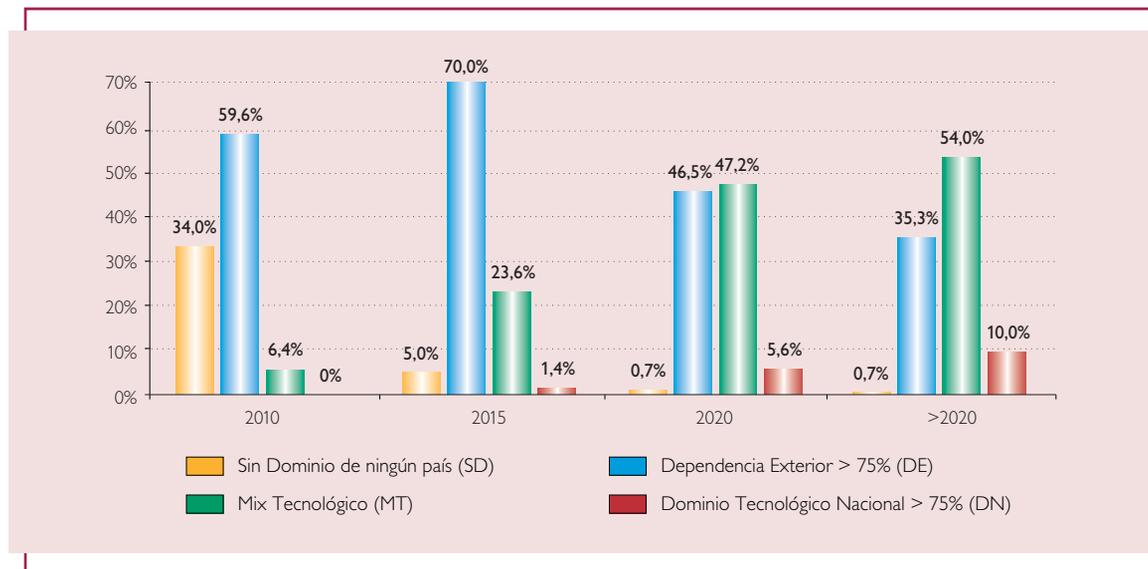
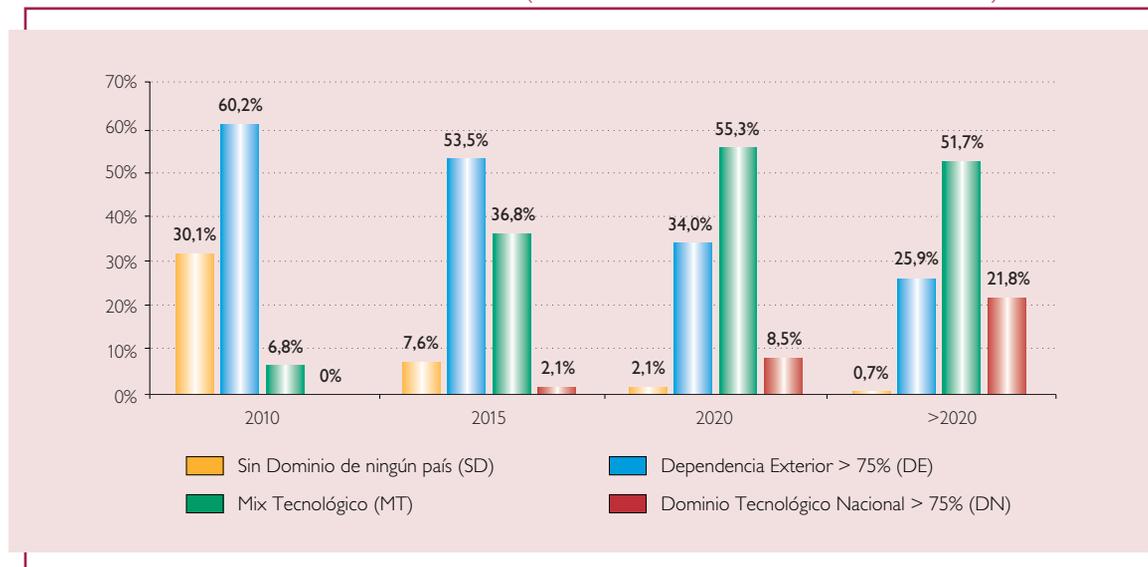


FIGURA 7. DOMINIO/DEPENDENCIA TECNOLÓGICA (RESPUESTAS CON CONOCIMIENTO ALTO-MEDIO)





### Posición de España

La posición de España ha sido estimada en relación con dos variables: la capacidad científica y tecnológica, y la aplicabilidad industrial (o capacidad de producción y comercialización) de los temas.

Los temas se valoraron mediante una escala que va del 1 al 4, siendo el 1 la posición más desfavorable y el 4 la más favorable.

En primer lugar, y tal como se desprende de las **Figuras 8 y 9**, se puede afirmar que la distribución de las respuestas

es muy similar tanto si se consideran todas las respuestas como si solo se reflejan la de los expertos con conocimiento alto o medio. No obstante, éstos últimos poseen una visión de la posición de España ligeramente más optimista.

Los resultados obtenidos muestran que los expertos con conocimiento alto-medio consideran que el potencial científico-tecnológico de España es, en términos generales, superior a la media de los países de su entorno. Sin embargo, esta percepción se invierte en lo referente a la aplicabilidad industrial.

FIGURA 8. CAPACIDAD CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

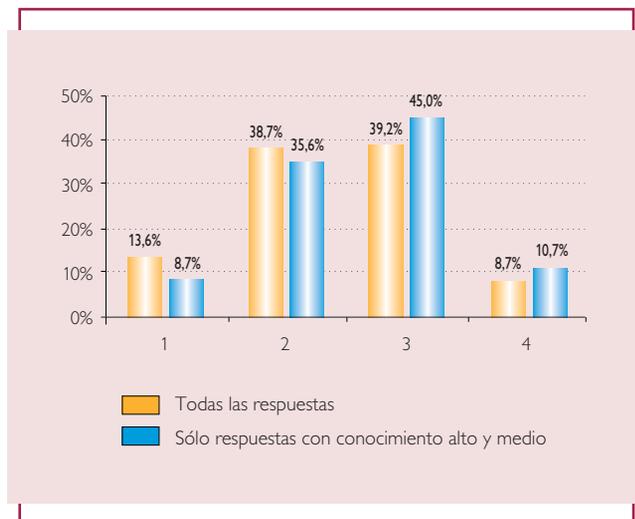
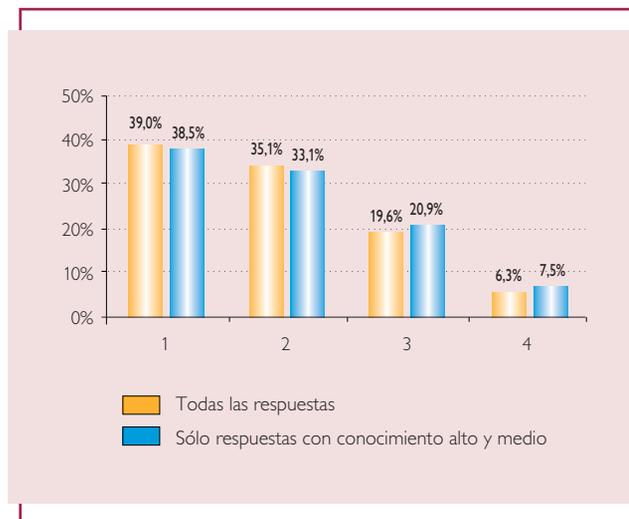


FIGURA 9. APLICABILIDAD INDUSTRIAL DE LOS TEMAS



### Atractivo para España

El atractivo para España ha sido estimado en relación con dos variables: ciencia y tecnología, y mercado.

Los temas se valoraron, al igual que en el caso de la posición de España, mediante una escala que va del 1 al 4, siendo el 1 la posición más desfavorable y el 4 la más favorable.

Tal como se observa en las Figuras 10 y 11, el atractivo de los temas propuestos es muy alto por lo que generan grandes expectativas para el logro en España de avances científico-tecnológicos importantes, así como para su explotación en los mercados.

FIGURA 10. ATRACTIVO PARA LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

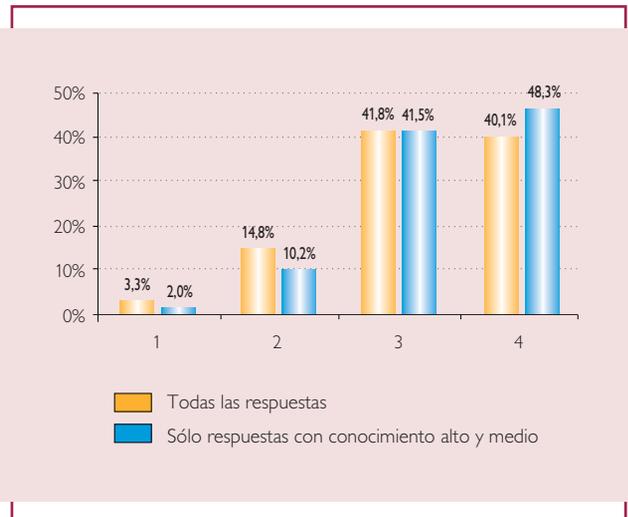
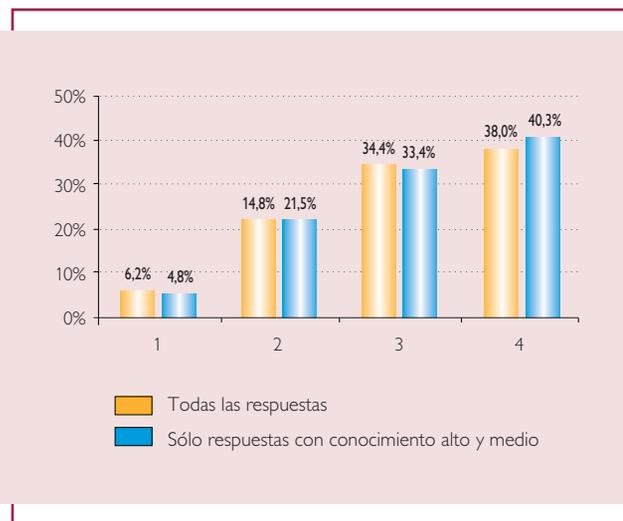


FIGURA 11. ATRACTIVO PARA EL MERCADO



### Factores críticos

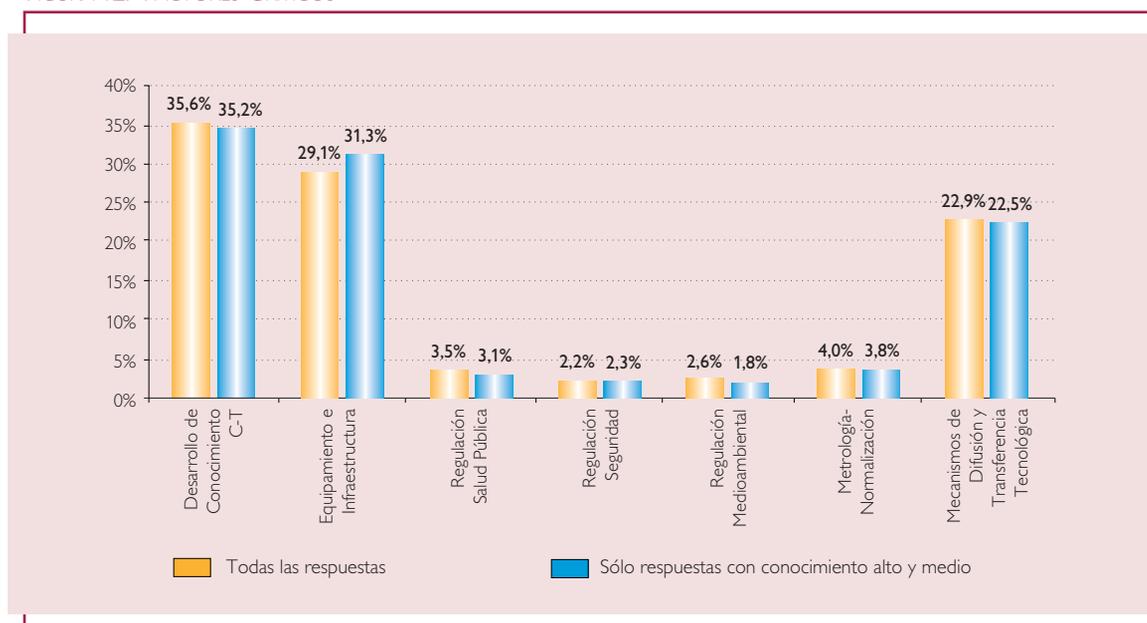
Esta variable hace referencia a los ámbitos o dominios en los que se identifican los principales problemas o dificultades que es preciso resolver. Se propusieron siete factores críticos:

- Desarrollo de Conocimientos Científico Tecnológicos.
- Equipamiento e Infraestructuras.
- Regulación en Salud Pública.
- Regulación en Seguridad.
- Regulación Medio Ambiental.
- Metrología - Normalización.
- Mecanismos de Difusión y Transferencia Tecnológica.



La **Figura 12** muestra la distribución de las respuestas obtenidas. El principal factor crítico estaría ligado, en términos generales, al desarrollo de conocimientos científico-tecnológicos, seguido por el equipamiento e infraestructura necesarias y por los mecanismos de difusión y transferencia tecnológica.

FIGURA 12. FACTORES CRÍTICOS



## Temas Relevantes en Función del Índice Grado de Importancia

El criterio de relevancia utilizado para clasificar los temas es el Índice Grado de Importancia (IGI). Este índice traduce la mayor o menor coincidencia de los expertos a la hora de

valorar la importancia concedida a cada tema. El índice puede oscilar entre un valor máximo de 4 y un valor mínimo de 1. Atendiendo a dicho criterio, se muestran los valores alcanzados por cada uno de los temas, considerando solo las opiniones de los expertos que han consignado un nivel de conocimiento alto o medio en relación a los mismos.

En términos generales, el IGI permite una clasificación numérica de los temas pero, la pequeña diferencia de valor existente entre un tema y el siguiente impide establecer con claridad una línea divisoria que diferencie los temas más relevantes de los que no lo son tanto. En consecuencia, el Panel de Expertos decide en cada caso sobre la ubicación de esta frontera, considerando siempre los temas

que tengan como mínimo un índice IGI igual o superior al valor medio del mismo.

La **Tabla 3** muestra el listado de los temas relevantes del presente *“Estudio de Prospectiva sobre las Aplicaciones Industriales de las Nanotecnologías en España en el Horizonte 2020”*.

TABLA 3. TEMAS RELEVANTES DEL ESTUDIO EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE GRADO DE IMPORTANCIA

ÁREA	TEMA
<b>CUESTIONARIO DE (NANO)TECNOLOGÍAS</b>	
Equipos y Técnicas de Análisis, Control y Medida	<ol style="list-style-type: none"> <li>Sondas de barrido para el análisis, caracterización y medida a escala nanométrica</li> <li>Técnicas de control y medida de nanopartículas</li> <li>Técnicas de microscopía tridimensional para células y otras (nano)estructuras blandas</li> </ol>
Equipos y Técnicas de (nano) Fabricación...	<ol style="list-style-type: none"> <li>Tecnologías de funcionalización de superficies</li> <li>Síntesis química de nanoestructuras, autoensamblado...</li> </ol>
(nano) Materiales	<ol style="list-style-type: none"> <li>Producción de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos</li> <li>Producción de nanoestructuras carbonosas</li> <li>Cerámicas nanoestructuradas</li> <li>Materiales orgánicos nanoestructurados con propiedades a medida</li> <li>Materiales biomiméticos y bioinspirados</li> </ol>
(nano) Dispositivos	<ol style="list-style-type: none"> <li>Nanosensores y NEMS</li> <li>Nanomagnetismo</li> </ol>
Regulación	<ol style="list-style-type: none"> <li>Tecnologías y técnicas de valoración del riesgo en la salud y en el medio ambiente</li> </ol>
<b>APLICACIONES EN EL TRANSPORTE</b>	
Aplicaciones Estructurales	<ol style="list-style-type: none"> <li>Aligeramiento</li> <li>Materiales compuestos, neumáticos...</li> </ol>
Superficies (multi) Funcionales	<ol style="list-style-type: none"> <li>Dureza, resistencia a la abrasión, corrosión</li> </ol>
Propulsión	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pilas de Combustible</li> </ol>
Equipos de Interior	<ol style="list-style-type: none"> <li>Protección</li> </ol>
Varios	<ol style="list-style-type: none"> <li>Sensores y actuadores</li> </ol>



ÁREA	TEMA
<b>APLICACIONES EN LA ENERGÍA Y EL MEDIO AMBIENTE</b>	
Energías Renovables	1. Solar Fotovoltaica y fotoquímica 4. Biocombustibles
H2 y Pilas de Combustible	6. Catalizadores
Almacenamiento y Transporte de Energía	8. Almacenamiento de H2
Medio Ambiente	16. Descontaminación, remediación 17. Sensores, biosensores...
<b>APLICACIONES EN TIC Y ELECTRÓNICA</b>	
Electrónica post-CMOS	3. Optoelectrónica 4. Fotónica... 5. (nano)materiales para SoC System on Chip y SIP System in Package (diseño y producto)
Dispositivos (transistores y memoria)	10. Transistores: transistor fotónico de silicio, transistor de nanohilo metálico, moleculares
<b>APLICACIONES SALUD Y BIOTECNOLOGÍA</b>	
Diagnóstico	6. Nano2bio: biosensores, biochips, chips celulares
Tratamiento	10. Implantes activos 11. Bioreactores para crecimiento bi y tridimensional de células 12. Terapias celulares 13. Ingeniería tisular 16. Administración de fármacos
Genómica, proteómica	18. Secuenciación genética
<b>APLICACIONES EN SECTORES TRADICIONALES</b>	
Textil	1. Fibras y textiles con funciones nuevas o mejoradas (durabilidad, resistencia, eficiencia en el lavado, conductoras, protectoras, con propiedades médicas e higiénicas...) 2. Fibras y textiles inteligentes (en respuesta a cambios ambientales, cambios corporales...) 3. Fibras y textiles técnicos (industria, transporte, geotextiles...) de altas prestaciones mecánicas y funcionales
Construcción	4. Nuevos materiales para la mejora del confort y la eficiencia energética: aislante/conductor térmico, eléctrico, magnético, acústico; ignífugo, hidrófobo, autolimpiable, etc.
Cerámica	7. Cerámicas con nuevas funciones: antideslizante, antirrayado, nuevos efectos de diseño y textura, efectos térmicos, etc.
Varios	11. Nuevos envases inteligentes: con control de atmósfera interna, marcadores y sensores, liberación de conservantes, etc.

En los capítulos siguientes se describen en mayor detalle los resultados relevantes obtenidos en cada uno de los ámbi-

tos temáticos del estudio, a fin de proporcionar una visión global de los mismos, sus retos, líneas de investigación, etc.



# Cuestionario de (nano)Tecnologías

Pedro Serena<sup>1</sup>  
José Luis Viviente<sup>2</sup>  
Javier García<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Investigador Científico. CSIC – Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM)

<sup>2</sup> Investigador. Fundación INASMET-TECNALIA

<sup>3</sup> Secretario del Comité Técnico de Normalización de Nanotecnología (AEN/GET 15). Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)

El “cuestionario de (nano)Tecnologías” aborda aquellas temáticas relacionadas con los conocimientos, técnicas y saberes de carácter transversal que resultan necesarios para el desarrollo de aplicaciones en cualesquiera de los sectores de actividad. El cuestionario plantea 37 temas de futuro sobre las siguientes áreas de investigación y desarrollo:

- Equipos y Técnicas de Análisis, Control y Medida.
- Equipos y Técnicas de (nano)Fabricación, Manipulación e Integración.
- (nano)Materiales.
- (nano)Dispositivos.
- Regulación y Normalización.



## Temas Más Relevantes del Cuestionario

Tal como se comentaba en el capítulo anterior, el criterio de relevancia seguido en el estudio es el Índice Grado de Importancia (IGI). La **Figura 13** muestra la clasificación de los temas más relevantes de este cuestionario según dicho índice.

Los temas con mayor puntuación representan para los expertos las principales inquietudes de futuro en relación con las nanotecnologías. Aunque, como ya se comentaba, es difícil establecer una nítida frontera que distinga que puntos

son de interés frente a los que no lo son, el Panel de Expertos eligió trece temas como los de mayor interés para el desarrollo de la industria española, aún a riesgo de asumir que alguno de los temas descartados puedan emerger con fuerza en el panorama industrial nacional.

Esta información se completa con la representación gráfica de los valores medios de las Índices de Posición y de Atractivo para España. La **Figura 14** representa la distribución de los temas del cuestionario de nanotecnologías, destacando en negrita la ubicación de los temas más relevantes del mismo.

FIGURA 13. CLASIFICACIÓN DE LOS TEMAS SEGÚN EL ÍNDICE DE GRADO DE IMPORTANCIA (IGI)

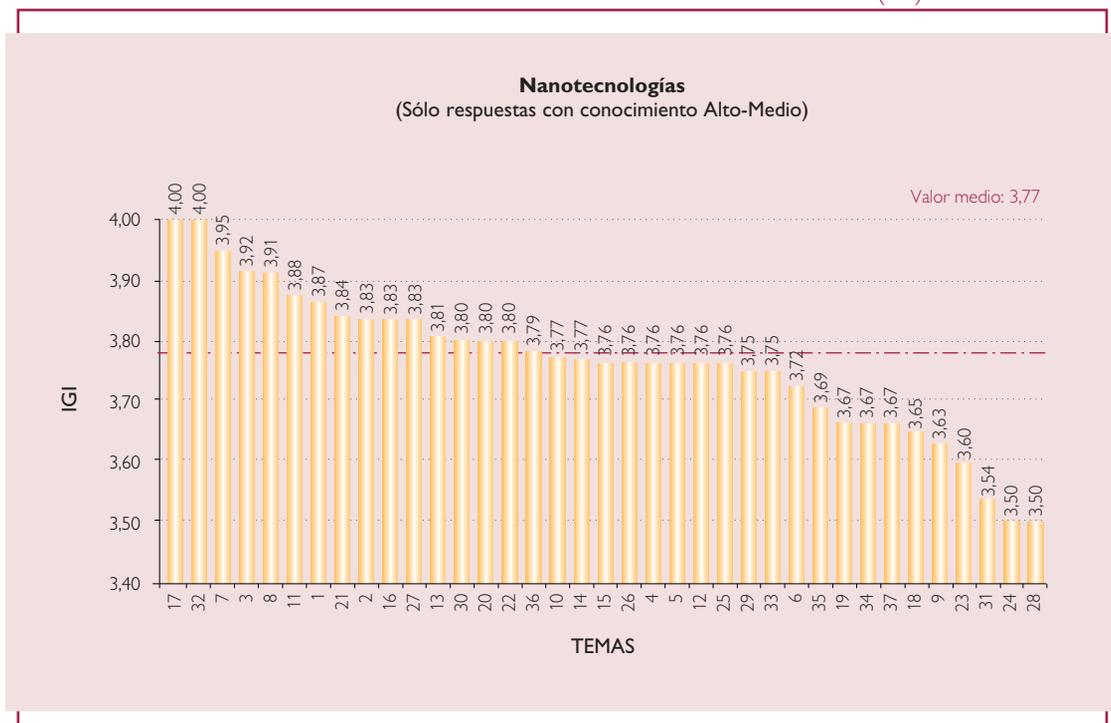
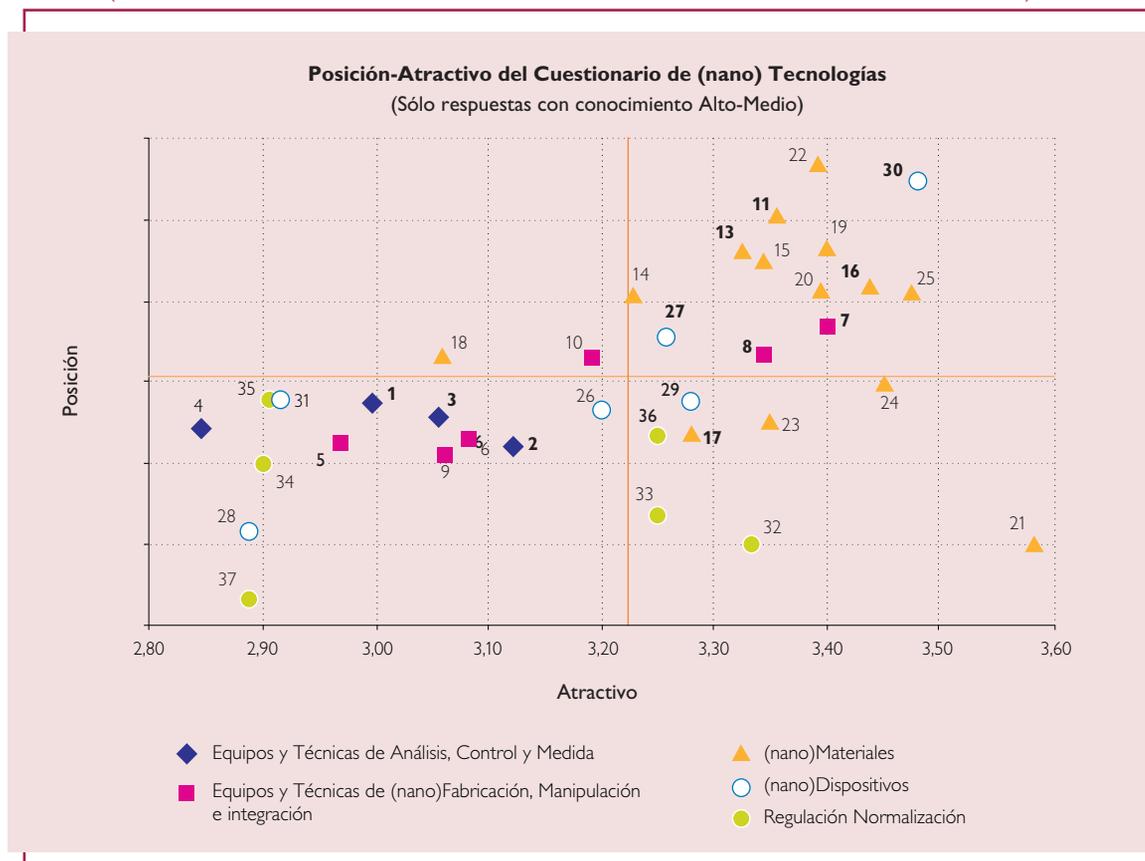


FIGURA 14. DISTRIBUCIÓN DE LOS TEMAS EN FUNCIÓN DE SUS ÍNDICES MEDIOS DE POSICIÓN Y ATRACTIVO PARA ESPAÑA (LA NUMERACIÓN EN NEGRITA CORRESPONDE A LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO)



Tal como se aprecia en la figura 14, el plano resultante se divide en cuatro cuadrantes mediante el trazado de dos líneas perpendiculares al valor medio de cada variable. El cuadrante superior derecho representa los temas que teniendo un valor alto de posición de España poseen un gran atractivo y, por lo tanto, suponen ámbitos consolidados de especialización que generan grandes expectativas. Los te-

mas que se encuentran en este cuadrante y, además, son importantes constituyen fortalezas a reforzar o mantener.

El cuadrante inferior derecho representa los temas de gran atractivo pero con un índice de posición de España inferior a la media, reflejando una clara debilidad relativa a pesar del interés que suscitan los temas que se ubican en el mismo.



Los temas que quedan en este cuadrante y son importantes suponen apuestas estratégicas sobre las que se deberá decidir en torno a la oportunidad de su reforzamiento u abandono.

Partiendo de los resultados generales del estudio y de estas informaciones, el análisis y valoración realizados por el Pa-

nel de Expertos concluyó considerando como “temas relevantes” los 13 primeros temas de mayor índice IGI.

La **Tabla 4** lista este conjunto de temas relevantes, mostrando el grado de desarrollo que, en opinión de los expertos, irán alcanzado desde la actualidad hasta el año 2020 y posteriores.

TABLA 4. GRADO DE DESARROLLO PREVISTO A FUTURO EN LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO DE (NANO)TECNOLOGÍAS

TEMA	Grado de Desarrollo														
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	>2020
<b>EQUIPOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS, CONTROL Y MEDIDA</b>															
1. Sondas de barrido para el análisis, caracterización y medida a escala nanométrica	TE			PD		DI		CM							
2. Técnicas de control y medida de nanopartículas	PD			DI				CM							
3. Técnicas de microscopía tridimensional para células y otras (nano)estructuras blandas	TE	DI				CM									
<b>EQUIPOS Y TÉCNICAS DE (NANO) FABRICACIÓN...</b>															
7. Tecnologías de funcionalización de superficies	PD			DI				CM							
8. Síntesis química de nanoestructuras, autoensamblado...	TE			PD				DI							
<b>(NANO) MATERIALES</b>															
11. Producción de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos	PD				DI			CM							
13. Producción de nanoestructuras carbonosas	PD			DI				CM							
16. Cerámicas nanoestructuradas	PD					DI		CM							
17. Materiales orgánicos nanoestructurados con propiedades a medida	TE	PD				DI		CM							
21. Materiales biomiméticos y bioinspirados	TE					PD									
<b>(NANO) DISPOSITIVOS</b>															
27. Nanosensores y NEMS	TE	PD			DI		CM								
30. Nanomagnetismo	TE	PD	DI				CM								
<b>REGULACIÓN</b>															
32. Tecnologías y técnicas de valoración del riesgo en la salud y en el medio ambiente	TE			PD				DI		CM					

TE Tecnología Emergente

PD Prototipo o Demostrador

DI Desarrollo Industrial

CM Comercialización en los Mercados

## Equipos y Técnicas de Análisis, Control y Medida

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
1.	Sondas de barrido para el análisis, caracterización y medida a escala nanométrica	3,87	2013 - 2014
2.	Técnicas de control y medida de nanopartículas	3,83	2011 - 2015
3.	Técnicas de microscopía tridimensional para células y otras (nano)estructuras blandas	3,92	2009 - 2014

Durante las tres últimas décadas ha tenido lugar el desarrollo de instrumentación y equipamiento que ha facilitado la exploración y la manipulación de la materia a escala nanométrica. Dicho desarrollo ha estado basado en la utilización de diferentes fenómenos físicos y químicos y ha sido crucial en la consolidación de la investigación en Nanociencias, abriendo la posibilidad de aplicar los conocimientos obtenidos y generando una verdadera Nanotecnología. La necesidad de diseñar, sintetizar y ensamblar nuevos materiales y dispositivos en la nanoescala requiere capacidad de análisis, control y medida de todos los pasos que se den en las diferentes etapas de producción. Por lo tanto, disponer de instrumentación que permita saber dónde nos encontramos y qué estamos haciendo en un mundo nanoscópico es clave tanto para el desarrollo de la investigación básica en Nanociencias como para dar el salto a la nanofabricación. Estamos ante un tema claramente transversal, muy relacionado también con cuestiones asociadas a técnicas de fabricación, regulación, normalización, etc.

Aunque muchas técnicas y herramientas que permiten el análisis y control en la nanoescala ya se usan de forma cotidiana en los laboratorios de investigación, su integración generalizada en líneas de producción no se ha dado aún (salvo en ámbitos como el de la Micro-Nano-electrónica). Esta in-

tegración constituye uno de los desafíos más importantes para lograr que las Nanotecnologías abanderen la prometida revolución industrial. En todo el mundo se está trabajando activamente en diseñar equipamientos capaces de resolver la geometría, composición y propiedades físicas y químicas de diferentes nanoestructuras de forma rápida, capaz de integrarse en una cadena de producción y adaptadas a diferentes ámbitos industriales. Los equipamientos existentes en laboratorios presentan dificultades de adaptación a los requerimientos típicos de fabricación y quizás son los métodos de índole óptica, espectroscópica o los basados en el uso de sondas de barrido local los que puedan incorporarse de forma más sencilla y eficaz en las diferentes etapas productivas.

En el presente informe se destacan como importantes para el entorno industrial español tres temas: (i) el uso de las sondas locales (en sus diferentes vertientes) como un valioso elemento de control de superficies y la fenomenología que en ellas puede ocurrir; (ii) las técnicas de control y medida de nanopartículas; y (iii) las técnicas de microscopía tridimensional de uso en sistemas biológicos. En los tres casos el número de respuestas obtenidas ha sido relativamente elevado (ver Anexo II) lo que permite constatar la importancia de estos temas para el conjunto de personas encuestadas. En los tres casos se vislumbra cómo en el horizonte



del año 2020 estas tecnologías se encontrarán en la fase de comercialización en los mercados, si bien el diseño de técnicas de control y medida de nanopartículas entrará en fase de prototipo/demostrador en muy corto plazo (horizonte 2010). En el estudio no destaca como prioritario el tema del desarrollo de técnicas de imagen a nivel molecular porque seguramente una gran parte de las mismas se encuentran vinculadas al desarrollo de las sondas de barrido local.

En los tres casos se constata que la industria española no tendrá dominio sobre el mercado nacional en el horizonte 2020, alcanzándose como mucho una situación de "mix tecnológico" en el caso de las sondas de barrido y en el de las técnicas de control y medida de nanopartículas. En relación con las técnicas de microscopía tridimensional la dependencia de la tecnología exterior se mantendrá durante largo tiempo debido a que el mercado está (y presumiblemente continuará) dominado por muy pocas firmas comerciales ubicadas en Japón, EE.UU, Alemania y Reino Unido.

En cualquier caso hay que tener en cuenta que el desarrollo de estas tecnologías pasa por resolver algunos aspectos críticos para su implantación en el ámbito industrial. En el tema de las técnicas de sondas de barrido local deben encontrarse estándares en cuanto a los modos de captación de imágenes, aumentar tanto la velocidad de adquisición de datos como el rango de tamaños que se pueden analizar, y mejorar la interpretación de los datos obtenidos (mapas de topografía, fuerzas, adhesión, interacción magnética, etc) para poder proceder a su automatización. En el caso de las técnicas de control y medida de nanopartículas el problema reside en la gran variedad de materiales (con muy diferentes propiedades) que pueden darse en formato de nanopartículas, por lo que se necesitarán seguramente equipos de control/medida muy dependientes de la naturaleza del

material nanoparticulado. En relación con las técnicas de microscopía tridimensional para materiales blandos se requerirá mejorar la manipulación de los especímenes evitando su deformación o desnaturalización, mejorar el software/hardware de captación, almacenamiento y manipulación-estudio de imágenes, y proceder a la integración de esta técnica junto con otras, como la de sonda local de barrido para poseer *in situ* una información mucho más completa del material bajo estudio.

La posición de España en capacidad científico-técnica es media o media-alta y sin embargo no se aprecia una buena posición en cuanto a la aplicación industrial. Como factores críticos que deben resolverse para desarrollar estas técnicas se citan la necesidad de desarrollar conocimiento científico-técnico y de incentivar su transferencia al sector productivo. Del mismo modo la carencia de equipamientos e infraestructuras adecuadas frenarían el desarrollo de estos temas. Estos tres factores críticos aparecen de forma constante a lo largo del presente informe en casi todas sus secciones y temas elegidos. Sin embargo conviene destacar que el desarrollo de las técnicas de control y medida de nanopartículas puede verse limitado por cuestiones relativas a la regulación en temas de salud pública, impacto ambiental y seguridad.

Se puede afirmar que las tres técnicas que se han considerado relevantes tienen una gran valoración desde una perspectiva científica y pre-industrial, debido a que en muchos casos los desarrollos se encuentran en estado embrionario, de laboratorio, vinculados a investigación básica. Sin embargo, destaca el mayor atractivo para el mercado que despierta la necesidad de desarrollar las metodologías de análisis y control de nanopartículas. Esto es debido al gran auge del uso de las mismas en distintos ámbitos como la fabricación de nuevos nanomateriales, materiales híbridos y

compuestos, su utilización en cosmética y en medicina, bien como marcadores en sistemas de diagnóstico o bien como sistemas de liberación de fármacos.

Aunque es difícil establecer indicadores fiables y de fácil seguimiento que permitan confirmar las tendencias que se prevén en este informe, podrían diseñarse los siguientes:

- Número de equipos de sonda de barrido local o de microscopía tridimensional que se instalan en centros de investigación y en empresas españolas, señalando su procedencia (nacional *versus* extranjera).
- Inversión en investigación y en adquisición de equipamiento dedicado a control y medida de nanopartículas.
- Número de patentes registradas y en explotación relacionadas con los tres temas (sondas de barrido local, control y medida de nanopartículas, microscopía tridimensional).
- Personal específico dedicado a I+D+i o trabajando en los tres temas (sondas de barrido, control y medida de nanopartículas, microscopía tridimensional).

## Equipos y Técnicas de (nano)Fabricación, Manipulación e Integración

En la Sección 3.2 se describían los equipos y técnicas de análisis, control y medida vinculados a la Nanotecnología que tendrán interés para la industria española. En dicha sección se mencionaba que el control y análisis de las propie-

dades en la nanoescala nos permitirá determinar con precisión los elementos y dispositivos nanométricos que se fabricarán mediante diversas vías físicas o químicas. Precisamente esta sección se centra en analizar los equipos y técnicas que son relevantes para la nanofabricación y que representan un punto central en la incorporación de las Nanotecnologías a la industria. En el Anexo II se detallan los diferentes temas considerados en la encuesta: (i) técnicas litográficas; (ii) tecnologías de producción con capacidad de controlar dimensiones y formas a escala nanométrica; (iii) tecnologías de funcionalización de superficies; (iv) síntesis química de nanoestructuras y autoensamblado, (v) nanomanipulación, y (vi) integración heterogénea nano-micro-macro. De dichos temas, únicamente se destacan dos por su mayor índice de grado de importancia (IGI): las tecnologías de funcionalización de superficies y la síntesis química y autoensamblado de nanoestructuras. En ambos casos el número de respuestas recibidas ha sido considerable lo que permite establecer conclusiones fiables.

Hay que destacar que las técnicas de índole litográfica o las basadas en nanomanipulación no son consideradas de tanta importancia como las dos seleccionadas. En el caso de la litografía esto se debe a la carencia de una industria microelectrónica potente (donde las técnicas litográficas están muy extendidas). En cuanto a la nanomanipulación como forma de nanofabricación no parece que esta técnica sea la solución de cara a la producción masiva de nanocomponentes o nanoestructuras, por lo que se entiende que el grado de importancia sea menor. Las dos técnicas

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
7.	Tecnologías de funcionalización de superficies	3,95	2011 - 2015
8.	Síntesis química de nanoestructuras, autoensamblado...	3,91	2016 - 2020



seleccionadas están relacionadas con la utilización de tecnologías de base física o química con el fin de fabricar nanoestructuras individuales, aisladas, o formando mallas periódicas, y para funcionalizar superficies. En cierto sentido ambos temas están relacionados porque la funcionalización de superficies pasa por el cambio de las propiedades superficiales mediante la incorporación de otros elementos (moléculas, nanoestructuras, entidades biológicas). En cualquier caso, la aplicación industrial de las Nanotecnologías implica acudir a técnicas que garanticen una producción masiva y de gran precisión de los elementos fabricados. La síntesis química y el autoensamblado garantizan dicha producción intensiva de unidades idénticas que permitirán obtener grandes cantidades de nanopartículas con tamaños y composición controladas, memorias magnéticas, redes de puntos cuánticos, centros de anclaje para enzimas, recubrimientos, etc.

Sin embargo, detrás de estas tecnologías se esconden ciertos problemas relacionados con la gran diversidad de superficies y estructuras que se pueden construir y que requerirán seguramente técnicas de síntesis o autoensamblado de muy diverso tipo, dependientes del resultado final que se desee conseguir. En cualquier caso, el presente estudio revela que en el año 2020 las tecnologías de funcionalización de superficies usadas para nanofabricación habrían entrado en una etapa de comercialización en los mercados, mientras que la comercialización de productos fabricados usando técnicas de autoensamblado será posterior.

La situación actual de dependencia tecnológica se irá transformando en una situación de "mix tecnológico" en el horizonte 2020. Esta situación se alcanzará gracias a la buena posición en ambos campos en cuanto a la capacidad científico-técnica de los grupos de investigación españoles. Los

expertos consultados sitúan los dos temas analizados entre los de mayor atractivo tanto desde un punto de vista del desarrollo científico-técnico como para el mercado. El interés en estas dos líneas de alto impacto se debe seguramente a la configuración actual de la industria española, en la que hay gran experiencia en los temas de tratamientos de superficies o en la producción de compuestos químicos. Por lo tanto, las líneas detectadas para el desarrollo de nanofabricación pueden conectarse de algún modo con el entorno industrial español actual, al que no le son ajenas. Obviamente esta situación no se da con las técnicas de fabricación basadas en litografía o nanomanipulación.

En cuanto a los factores críticos que deben resolverse para desarrollar estas técnicas se han detectado como determinantes: (i) la necesidad de desarrollar conocimiento científico-técnico, e incentivar su transferencia al sector productivo, y (ii) disponer de infraestructuras y equipamientos adecuados.

Como indicadores que permitan confirmar las tendencias que se prevén en este informe podrían diseñarse los siguientes:

- Número de empresas que incorporan procedimientos basados en funcionalización de superficies, síntesis química de nanoestructuras y/o técnicas de autoensamblado en la producción de materiales o dispositivos.
- Inversión en investigación y en adquisición de equipamiento dedicado a nanofabricación.
- Número de patentes registradas y en explotación relacionadas con los dos temas.
- Personal específico dedicado a I+D+i o trabajando en los dos temas planteados como más importantes desde la perspectiva de nanofabricación.

## (nano)Materiales

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
11.	Producción de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos	3,88	2013 - 2015
13.	Producción de nanoestructuras carbonosas	3,81	2011 - 2015
16.	Cerámicas nanoestructuradas	3,83	2016 - 2018
17.	Materiales orgánicos nanoestructurados con propiedades a medida	4,00	2016 - 2018
21.	Materiales biomiméticos y bioinspirados	3,84	> 2020

Los (nano)Materiales es una de las áreas de I+D+i en Nanotecnologías en las que, salvo algunas excepciones (i.e.; materiales biomiméticos y bioinspirados), el desarrollo de algunas tecnologías está más avanzado, lo que permite encontrar productos en el mercado. Los diferentes temas que se han considerado en el presente estudio son (ver Anexo 2): (i) producción de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos; (ii) producción de nanopartículas poliméricas; (iii) producción de nanoestructuras carbonosas; (iv) producción de nanosilicatos; (v) aleaciones metálicas nanoestructuradas; (vi) cerámicas nanoestructuradas; (vii) materiales orgánicos nanoestructurados con propiedades a medida; (viii) recubrimientos base carbono (DLC, nanocarbonitruros...); (ix) recubrimientos de óxidos metálicos; (x) otros recubrimientos; (xi) materiales biomiméticos y bioinspirados; (xii) materiales (nano)porosos: zeolitas, mesoporos, membranas...; (xiii) nanocomposites de matriz metálica; (xiv) nanocomposites de matriz cerámica; (xv) nanocomposites de matriz orgánica.

La encuesta realizada nos indica que, salvo en la temática de los materiales biomiméticos y bioinspirados, todas las temáticas consideradas estarán en fase de desarrollo de

prototipos o demostradores en el año 2011 y en fase de desarrollo industrial o de comercialización en el año 2016. En algunas temáticas incluso antes de estas fechas (ver Anexo 2 para detalles). Así mismo, se han identificado como líneas de mayor importancia (índice IGI, Fig. 13) las relacionadas con: (i) producción de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos; (ii) producción de nanoestructuras carbonosas; (iii) cerámicas nanoestructuradas; (iv) materiales orgánicos nanoestructurados con propiedades a medida; (v) materiales biomiméticos y bioinspirados. Sin embargo, esto no implica que las otras temáticas no tengan relevancia o que el posicionamiento y atractivo para España sea bajo. Tal como se observa en la figura 14, donde se representa "Posición vs. Atractivo" de las temáticas consideradas en el área común de Nanotecnologías, temáticas como: (i) producción de nanopartículas poliméricas; (ii) producción de nanosilicatos; (iii) aleaciones metálicas nanoestructuradas; (iv) recubrimientos de óxidos metálicos; (v) otros recubrimientos; (vi) materiales (nano)porosos: zeolitas, mesoporos, membranas...; o (vii) nanocomposites de matriz orgánica; aúnan un valor alto de posición para España junto a un gran atractivo y, por lo tanto, corresponden a ámbitos consolidados de especialización que



generan grandes expectativas. Por otro lado, temáticas como los nanocomposites de matriz metálica o de matriz cerámica presentan un gran atractivo pero con un índice de posicionamiento por debajo de la media, reflejando una debilidad relativa a pesar del interés que suscitan dichos temas. Si consideramos el nivel de dominio y/o dependencia tecnológica en ambas temáticas, se puede apreciar que aún existe una oportunidad de posicionamiento en la temática “nanocomposites de matriz metálica” dado que esta se considera actualmente como una tecnología en desarrollo, sin dominio de ningún país en concreto y se estima que podría llegarse a un dominio tecnológico nacional en el año 2019.

Un análisis más detallado de los resultados obtenidos en las cinco áreas temáticas consideradas como más relevantes nos indica que estas temáticas pueden agruparse en dos grandes grupos. En el primero estarían las temáticas que presentan un grado de desarrollo tecnológico más avanzado como son: (i) producción de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos; (ii) producción de nanoestructuras carbonosas; (iii) cerámicas nanoestructuradas. Dichas temáticas se consideran actualmente en fase de desarrollo de prototipos o demostradores, con algunas aplicaciones/productos ya en el mercado. Tanto el posicionamiento como el atractivo en España se consideran altos (por encima de la media) en dichas temáticas (Fig. 14).

Por otro lado, en el segundo grupo estarían las temáticas con un grado de desarrollo menos avanzado como: (i) materiales orgánicos nanoestructurados con propiedades a medida y (ii) materiales biomiméticos y bioinspirados. Dichas temáticas se consideran como “tecnología emergente” sin dominio de ningún país en concreto. No obstante, aún presentando un gran atractivo el posicionamiento de España

es inferior a la media, principalmente en la temática “materiales biomiméticos y bioinspirados”, lo que refleja una debilidad relativa pero al mismo tiempo una oportunidad si se decide apostar por ellas dado que son tecnologías emergentes.

Como puede comprenderse, las áreas temáticas consideradas abarcan un gran rango de (nano)materiales y/o productos nanoestructurados. El posicionamiento de España que se refleja en alguna de ellas es válido para un cierto tipo de materiales y no para otros dentro de una misma área temática. Por otro lado, en algunos casos el posicionamiento de España es alto desde el punto de vista académico pero no tanto desde el punto de vista industrial. Así, por ejemplo, en España se fabrican nanofibras de carbono a escala semi-industrial (o industrial) pero no nanotubos de carbono (aunque se han puesto en marcha un par de iniciativas de tipo spin-off con la intención de empezar a producirlos a gran escala). En cualquier caso existe una gran I+D+i a nivel académico e industrial para el desarrollo de componentes que contengan este tipo de nano-objetos. Independientemente del nivel de I+D+i actual, existen una serie de cuestiones técnicas o factores críticos comunes dentro del primer grupo de áreas temáticas previamente consideradas que deberían de abordarse para la comercialización de procesos/productos. Entre estos cabe destacar:

- El paso del desarrollo de laboratorio a la escala industrial.
- Control y reproducibilidad a escala industrial del proceso y/o producto obtenido.
- Desarrollo de tecnologías de proceso para la fabricación de componentes nanoestructurados a coste adecuado.
- Salud, seguridad e impacto medioambiental.
- Eedución del coste de los productos.

Por otro lado, al igual que en las otras áreas (temáticas) que se abordan en este informe es necesario seguir aumentando el conocimiento científico-técnico de las mismas y disponer de infraestructuras y equipamientos adecuados para la I+D+i.

Como indicadores que permitan confirmar las tendencias en las cinco temáticas consideradas de mayor importancia en este informe se podrían considerar los siguientes:

- Número de proyectos e inversión en I+D+i por temática (tanto proyectos públicos como privados incluyendo inversiones en equipamiento).
- Personal científico específico dedicado a I+D+i o trabajando en cada temática.
- Número de patentes registradas y en explotación relacionadas con los cinco temas.
- Número de empresas de nueva creación y/o con una nueva actividad en este ámbito.

## (nano)Dispositivos

El diseño y fabricación de nanodispositivos es uno de los tópicos en los que las Nanotecnologías se encuentran más cercanas a la obtención de elementos que se incorporarán en diversos bienes de consumo. Los diferentes temas que se han considerado en el presente estudio son: (i) dispositivos moleculares; (ii) nanosensores y NEMS; (iii) nanorobots y nanomáquinas; (iv) nanofotónica; (v) nanomagnetismo; y (vi) espintrónica.

Tras la encuesta han quedado descartadas como líneas clave para la aplicación de las Nanotecnologías en la industria española las relacionadas con dispositivos moleculares, nanorobots, nanofotónica y espintrónica, quedando en el grupo de las líneas de mayor impacto las relacionadas con nanosensores y NEMS y nanomagnetismo. Posiblemente las líneas de dispositivos moleculares y de nanomáquinas han quedado descartadas por la falta de peso de estas líneas tanto en la comunidad científica como en la industria española. Algo similar puede decirse con la espintrónica (donde no hay una industria de electrónica o de sistemas de almacenamiento de datos con cierto peso internacional). Además, muchos aspectos de la espintrónica pueden quedar absorbidos dentro de las líneas correspondientes a nanomagnetismo. Sorprende que el índice de grado de importancia (IGI) de la nanofotónica quede por debajo del de los dispositivos moleculares, por ejemplo, cuando es un tema candente en investigación y siendo un campo industrial virgen en el que puede haber potencial de crecimiento empresarial. Por otro lado la ausencia del tema nanofotónica se compensa con la alta prioridad dada a los materiales para energía solar fotovoltaica (ver la sección 5.2 de este documento).

Se debe destacar que los temas seleccionados también se corresponden con aquellos en los que hay más personas consultadas que poseen un nivel de conocimiento alto (10 en cada caso). Esta mayor proporción de encuestados se puede correlacionar en un caso (nanomagnetismo) con la

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
27.	Nanosensores y NEMS	3,83	2013 - 2015
30.	Nanomagnetismo	3,80	2009 - 2015



existencia de una consolidada escuela española de investigación en magnetismo y, en el otro, con la existencia de diversos sectores industriales interesados por el desarrollo de diferentes tipos de sensores, para un amplio espectro de aplicaciones. De alguna manera, los temas seleccionados se ajustan bien a los intereses existentes en sectores académicos y empresariales.

La fabricación de diminutos sistemas sensores es clave en la práctica totalidad de sectores industriales, con incidencia en alimentación, sanidad, medioambiente, seguridad, transporte, etc. Los retos tecnológicos para la fabricación de nanosensores son muchos pero podemos destacar aquellos que se derivan de la necesidad de fabricar dispositivos donde se combinan materiales con diferentes propiedades, de la necesidad de crear nuevos materiales multifuncionales que permitan reaccionar a varios estímulos, y de la obligada integración de los nanodispositivos en sistemas micro y macroscópicos. En el tema del nanomagnetismo aplicado a sistemas de almacenamiento se requiere entender y controlar, por ejemplo, el superparamagnetismo vinculado a las nanopartículas magnéticas. Asimismo hay que entender bien la posible aparición de una rica fenomenología magnética en nanopartículas y clusters que no presentan comportamiento ferromagnético en la macroescala. Además, no hay que olvidar que existe una gran línea de trabajo en el diseño de sensores biológicos fundamentados en el uso de nanopartículas (ver la sección 7.2 de este documento). A pesar de los retos que hay que superar, parece claro que ambos temas darán lugar a multitud de productos que ya se comercializarán en el horizonte del año 2020.

En el caso de los nanosensores es evidente que va a resultar muy difícil evitar una dependencia tecnológica del exterior en el horizonte 2020. En cambio, en el ámbito del nanomagnetismo es previsible alcanzar una situación de "mix tecnológico". En ambos casos el atractivo para España desde el punto de vista de investigación y de mercado es muy grande. A su vez nos encontramos en una buena posición relativamente buena en lo que respecta a nuestra capacidad científico-técnica (ver la figura 14). Esto demuestra que estamos ante temas de gran potencial de crecimiento en los que tenemos un punto de partida razonable para poder tomar posiciones en el mercado.

Al igual que ocurre con otros temas que se tratan en este informe, los factores críticos que deben resolverse para desarrollar estas técnicas serán: (i) la necesidad de seguir generando conocimiento científico-técnico que pueda llegar de forma eficiente al sector productivo, y (ii) disponer de infraestructuras y equipamientos adecuados.

Como indicadores que permitan confirmar las tendencias que se prevén en este informe podrían diseñarse los siguientes:

- Número de empresas que fabrican nanosensores y MEMS y volumen de negocio de las mismas, cuota de mercado nacional, importaciones-exportaciones.
- Número de empresas que fabrican dispositivos que incorporan componentes nanomagnéticos.
- Inversión en investigación y desarrollo en nanosensores, MEMS y nanomagnetismo.
- Número de patentes registradas y en explotación relacionadas con los dos temas.

## Regulación y Normalización

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
32.	Tecnologías y técnicas de valoración del riesgo en la salud y en el medio ambiente	4,00	2016 - 2018

La generación de materiales con estas nuevas, y en muchos casos, excepcionales propiedades, han producido una serie de dudas sobre el potencial impacto nocivo de los nanomateriales, y en particular de las nanopartículas. Precisamente por estas y otras cuestiones, es importante que se tomen medidas que aseguren al público que los desarrollos en las nanotecnologías están teniendo lugar en un marco seguro, responsable y sostenible.

Este es exactamente el momento en el que las actividades de normalización entran en escena. Un momento en el que las nanotecnologías aún se encuentran en un relativo estado inicial de desarrollo y en el que, además de dotarlas del necesario apoyo para su desarrollo industrial, es conveniente dotarlas de normas que establezcan:

- Terminología internacionalmente consensuada.
- Protocolos internacionales de ensayos de toxicidad de nanopartículas.
- Protocolos normalizados para evaluar el impacto ambiental de las nanopartículas.
- Métodos de ensayo adecuados para dispositivos y dimensiones en nanoescala.
- Técnicas e instrumentos de medición normalizados.
- Nuevos procedimientos de calibración y materiales de referencia certificados para uso en nanoescala.
- Normas para sistemas y dispositivos multifuncionales.

A este respecto, deben tenerse especialmente en cuenta los trabajos en marcha en el seno de los siguientes órganos técnicos:

- A nivel nacional, el Grupo Específico de carácter Temporal, AEN/GET 15 "Nanotecnologías" de la Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- A nivel internacional, destacan especialmente dos foros:
  - La Organización Internacional de Normalización, ISO, y concretamente su comité técnico ISO/TC 229 "Nanotechnologies".
  - La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), y en especial su grupo dedicado al análisis de los nanomateriales.

Los trabajos actualmente en marcha en el marco del ISO/TC 229, están organizados en 3 líneas directrices, cada una mediante el correspondiente grupo de trabajo: WG 1 "Terminología y Nomenclatura", WG 2 "Medición y Caracterización" y WG 3 "Salud, Seguridad y Medio Ambiente".

Precisamente este último WG 3 es el que está comenzando a elaborar documentos normativos de diferente rango sobre tecnologías y técnicas de valoración del riesgo en la salud y en el medio ambiente. Los trabajos en marcha en este grupo, en el que ya hay expertos españoles participando a través del AEN/GET 15, son los siguientes:



ISO 29701	Nanotechnologies — Endotoxin test on nanomaterial samples for in vitro systems
ISO/AWI 10808	Nanotechnologies — Monitoring silver nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing
ISO/AWI 10801	Nanotechnologies — Generation of silver nanoparticles for inhalation toxicity testing

Así como un Informe Técnico (ISO/TR) sobre “*Occupational Safe Practices Regarding Nanotechnologies*”, cuya aprobación por los miembros nacionales de ISO se encuentra próxima.

Para ello, los trabajos del WG 3 se van a concentrar prioritariamente en los siguientes 3 elementos identificados como prioritarios.

- *Toxicological Screening Test.*
- *Toxicological Assessment techniques.*
- *Occupational Exposure Controls.*

Estos trabajos se van a desarrollar considerando a modo estratégico la revisión de las técnicas existentes de evaluación de la toxicidad, modificándolas siempre que sean necesario para su utilización en nanomateriales, así como haciendo el necesario seguimiento de las actividades de OCDE, dado que también en esta organización se están llevando a cabo actividades semejantes.

En la actualidad son 4 los task group creados en el marco del WG 3:

- *WG 3/PG 1 Controlling Occupational Exposures to Nanomaterials.*

- *WG 3/PG 2 Control of Endotoxins.*
- *WG 3/PG 3 and PG 4 - Generation of silver nanoparticles and Monitoring Ag nanoparticles in inhalation exposure chambers.*

Por su parte, en lo que se refiere al ámbito europeo, recientemente la Comisión Europea, y en concreto su Dirección General de Empresa e Industria, ha remitido un mandato de programación a los organismos europeos de normalización, al cual se va a dar respuesta principalmente desde el comité técnico 352 del Comité Europeo de Normalización, CEN. El mandato M/409, tiene como objeto elaborar un programa de normas necesarias para considerar las propiedades específicas de la nanotecnología y los nanomateriales: Se trata de una propuesta de mandato que será aprobada a corto plazo y cuyo objetivo será previsiblemente la elaboración de normas que sirvan para dar apoyo a determinadas iniciativas reglamentarias de la Comisión Europea.

## Conclusión

Por lo general se detecta que los temas elegidos con mayor Índice de Grado de Importancia (IGI) son aquellos en los que ya existe en España cierto potencial investigador y ciertos sectores industriales interesados. Esto tiene cierta lógica debido a que el grupo de expertos consultados son agentes activos en el sistema español de ciencia-tecnología-empresa y, por lo tanto, se da una tendencia a aplicar nuevo conocimiento en los temas en los que ya se está trabajando. Sin embargo, este hecho refleja que las Nanotecnologías no van a ser rupturistas, y no abrirán nuevos nichos de mercado. Las Nanotecnologías permitirán modificar los procedimientos de fabricación y control en ámbitos económicos que serán muy similares a los actuales. Si se desea que la nanotecnología abra nuevas sendas industriales en

territorios no convencionales seguramente será necesario fomentar la creación de nuevas empresas de base tecnológica (NEBTs). Estas NEBTs pueden nacer y desarrollarse en el contexto de los viveros de empresas ubicados en Centros Tecnológicos y Parques Científicos-Tecnológicos, en los que se fomente el modelo de la empresa spin-off como germen de la transferencia de conocimiento.

En el ámbito de las Nanotecnologías se ha detectado que, en general, existe el convencimiento de poseer un notable potencial científico-técnico, y una escasa capacidad de aplicación industrial de dicho conocimiento. Este problema no es particular de la Nanotecnología y aqueja a todo el sistema español de I+D+i. Precisamente, la falta de una adecuada transferencia de conocimiento entre los generadores del mismo y las empresas se ve como uno de los factores críticos que pueden impedir la aplicación de las Nanotecnologías en el entorno industrial español. A este factor crítico hay que sumar otros dos: la necesidad de generar de forma permanente nuevo conocimiento y disponer de infraestructuras adecuadas para hacerlo. Es evidente que ambas variables están relacionadas. Difícilmente se puede generar conocimiento de vanguardia sin contar con el equipamiento y el personal adecuados. En este sentido, la falta de personal cualificado en nanotecnologías no se percibe como un amenaza para el desarrollo de las mismas, cuando es evidente que el número de alumnos que eligen carreras científico-técnicas está experimentando un descenso desde hace una década. Aunque este factor no se ha destacado conviene tenerlo en cuenta si se desea impulsar este área tanto a nivel académico como industrial. Los datos aportados por los expertos nos permiten identificar aquellos sectores en los que una decidida intervención (apoyo en la formación de recursos humanos, mejoras de infraestructuras, incremento de la transferencia tecnológica) pueden dar lugar a mejorar la posición de la industria española.

También hay que mencionar que los expertos no detectan, salvo algunas excepciones, que los temas de regulación y normalización vayan a ser un parámetro crítico para la incorporación de las Nanotecnologías a la industria española. Sin embargo, es necesario incentivar las actividades de normalización en el campo de las nanotecnologías, aun siendo relativamente recientes y novedosas. Esta actividades se están llevando a cabo de manera coordinada a nivel internacional tanto en el marco de ISO como de la OCDE. De este modo se asegura la posibilidad de que contribuyan los expertos de las diferentes regiones del planeta y se mantiene la coherencia entre las necesidades del regulador, fundamentalmente la Comisión Europea en el caso de la UE, y las iniciativas requeridas por el ámbito privado a través de los organismos de normalización. AENOR, como organismo nacional miembro de CEN y de ISO, a través de su órgano técnico AEN/GET 15 "Nanotecnologías" está agrupando a los expertos españoles en la materia y canalizando así su contribución en el ámbito europeo e internacional.

En cuanto al atractivo de los temas elegidos, se observa como los tres temas relacionados con Equipos y Técnicas de Análisis, Control y Medida no tienen una buena posición y no poseen un gran atractivo en el contexto español. Por el contrario, los temas relacionados con Equipos y Técnicas de Nanofabricación y Nanodispositivos, son de gran interés y, simultáneamente, existe una buena posición científica-tecnológica para abordarlos. Estos datos permiten identificar aquellos sectores en los que una decidida intervención (apoyo en la formación de recursos humanos, mejoras de infraestructuras, incremento de la transferencia tecnológica) puede propiciar una mejora de la posición de la industria española con la ayuda del desarrollo e incorporación de las Nanotecnologías.



Es muy importante incidir en el hecho de que nos encontramos ante temas que van a tener réditos a medio y largo plazo. Esto es importante para no generar falsas expectativas a los empresarios dispuestos a invertir en el desarrollo o adquisición de Nanotecnología. Como puede verse en la Tabla 3, no hay ningún tema de elevado IGI que entre en fase de desarrollo industrial antes de 2010. Igualmente, no hay ningún tema de los elegidos en los que se pueda entrar en fase de comercialización antes de 2015. Incluso en el Horizonte 2020 existirán temas que aún se encontrarán en fase de diseño industrial, como son los relacionados con el autoensamblado (tema 8) y el desarrollo de los materiales biomiméticos y bioinspirados

(tema 21). En estos dos últimos casos nos encontramos ante temas muy vinculados a estrategias de fabricación de tipo “bottom-up” que son las que más tardíamente se incorporarán a la industria.

En cuanto a los posibles indicadores de seguimiento, casi todos ellos hacen incidencia en el número de empresas y/o volumen de actividad económica relacionados con la incorporación de las Nanotecnologías en las industrias. Además el número de patentes generadas y licenciadas, o la inversión en equipamiento permitirán conocer si se hace el esfuerzo suficiente de forma que se puedan evitar los efectos asociados a los factores críticos.



# Aplicaciones de las Nanotecnologías en el transporte

Gotzon Azkarate<sup>1</sup>  
Pedro Serena<sup>2</sup>

Los futuros vehículos de transporte serán más ligeros y eficientes, con bajo consumo de combustibles y mínimas emisiones, inteligentes y con altos niveles de seguridad y confort de uso y, además, mucho más reciclables. La aportación de las nanotecnologías a todos estos objetivos será, con toda probabilidad, de gran relevancia y, de facto, ya se están utilizando en algunas aplicaciones como catalizadores, recubrimientos, materiales nanoestructurados y nanocompuestos, sensores, etc.

El “cuestionario sobre Aplicaciones de las Nanotecnologías en el Transporte” aborda los principales temas de investigación en nanotecnologías en relación con este ámbito sectorial. El cuestionario planteó 16 temas de futuro en las siguientes áreas de aplicación:

- Aplicaciones Estructurales.

---

<sup>1</sup> Investigador, Fundación INASMET-TECNALIA. Coordinador de Estudios de Prospectiva, Fundación OPTI

<sup>2</sup> Investigador Científico. CSIC – Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM)



- Superficies (multi)Funcionales.
- Propulsión.
- Equipos de Interior.
- Varios.

## Temas Más Relevantes del Cuestionario

La **Figura 15** muestra la clasificación de los temas más relevantes del cuestionario según el Índice Grado de Importancia (IGI) utilizado como criterio de relevancia del presente

estudio, tal como se indica en el capítulo 2.3. Los temas con mayor puntuación representan para los expertos las principales inquietudes de futuro en relación con las aplicaciones de las nanotecnologías en el transporte.

Como en el caso anterior, esta información se completa con la representación gráfica de los valores medios de las Índices de Posición y de Atractivo para España. La **Figura 16** representa la distribución de los temas del cuestionario del transporte, donde se destaca en negrita la posición de los temas relevantes según el IGI.

FIGURA 15. CLASIFICACIÓN DE LOS TEMAS SEGÚN EL ÍNDICE DE GRADO DE IMPORTANCIA (IGI)

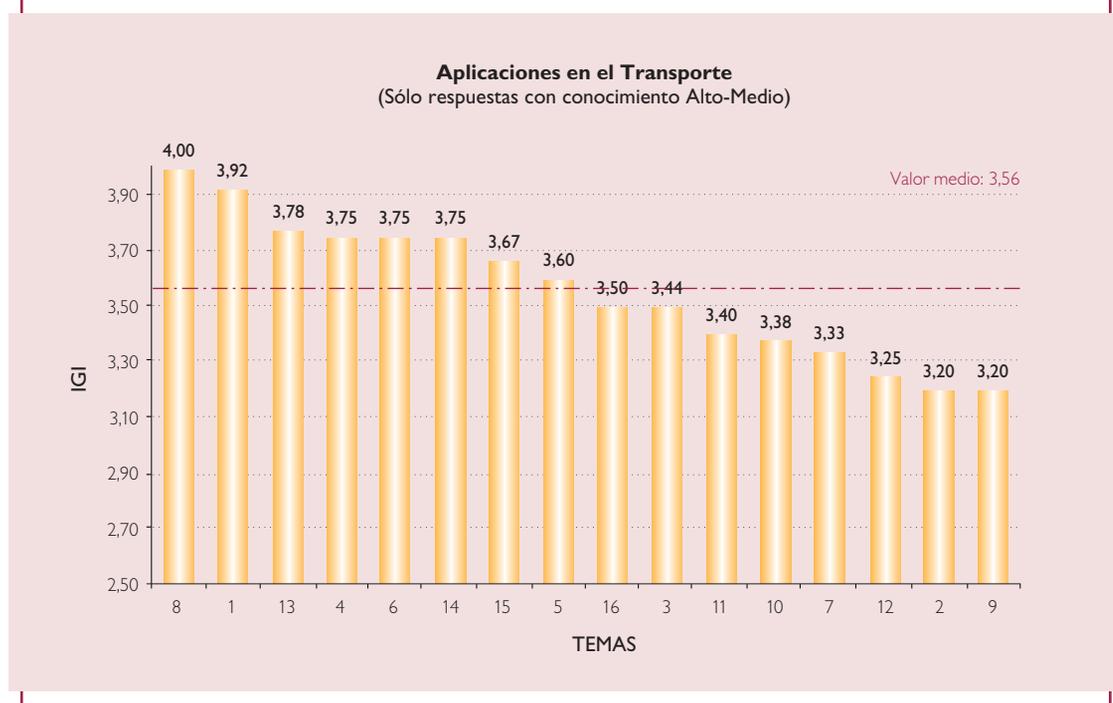
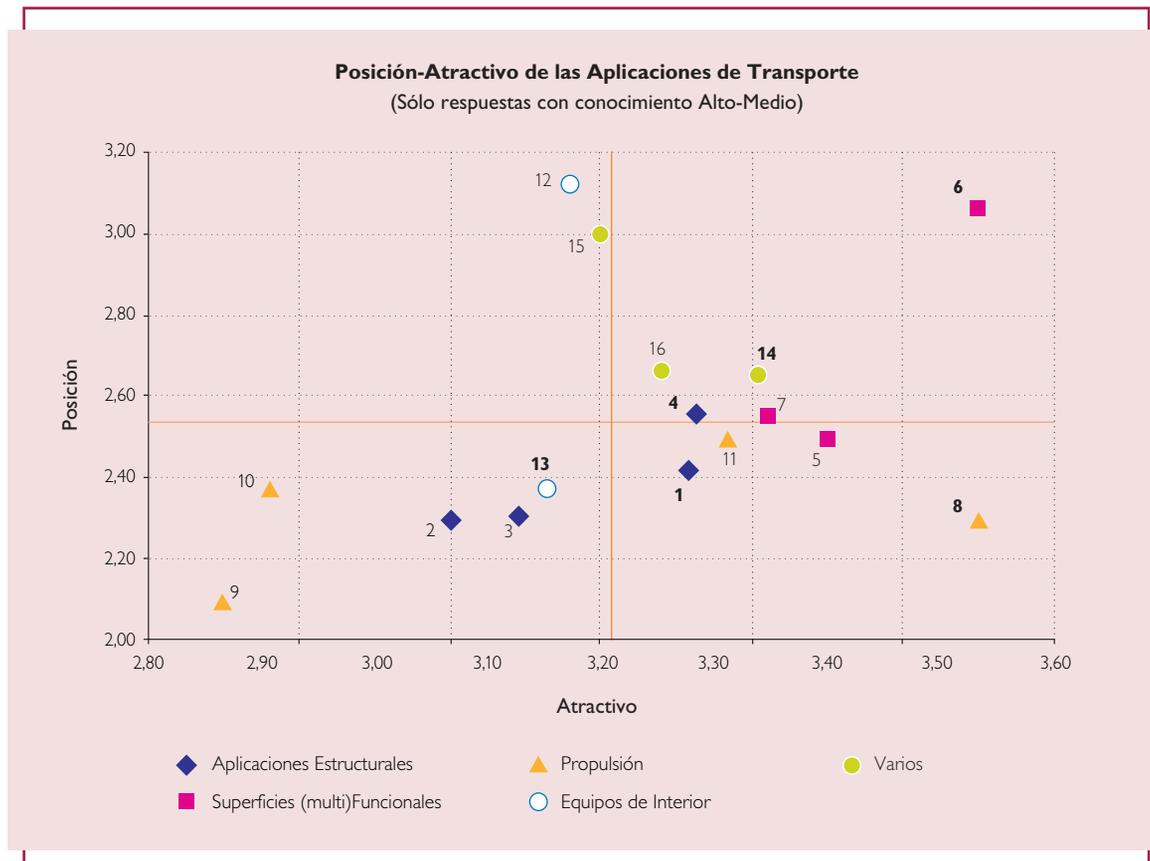


FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN DE LOS TEMAS EN FUNCIÓN DE SUS ÍNDICES MEDIOS DE POSICIÓN Y ATRACTIVO PARA ESPAÑA (LA NUMERACIÓN EN NEGRITA CORRESPONDE A LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO)



Partiendo de los resultados generales del estudio y de estas informaciones, el Panel de Expertos concluyó considerando como “temas relevantes” los 6 primeros temas de mayor índice IGI.

Tal como se aprecia en dicha figura, los temas 4, 6 y 14, que se ubican en el cuadrante superior derecho, constituyen fortalezas a reforzar o mantener por su elevado atractivo y

excelente posición de España; mientras que los temas 1,8 y también el 13, situados en la parte inferior derecha, suponen apuestas estratégicas sobre las que se deberá decidir en torno a la oportunidad de su reforzamiento u abandono.

La **Tabla 5** lista este conjunto de temas relevantes, mostrando el grado de desarrollo que, en opinión de los expertos, irán alcanzado desde la actualidad hasta el año 2020 y posteriores.



TABLA 5. GRADO DE DESARROLLO PREVISTO A FUTURO EN LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO SOBRE APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN EL TRANSPORTE

TEMA	Grado de Desarrollo														
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	>2020
<b>APLICACIONES ESTRUCTURALES</b>															
1. Aligeramiento			PD			DI									CM
4. Materiales compuestos, neumáticos...			PD												CM
<b>SUPERFICIES (MULTI) FUNCIONALES</b>															
6. Dureza, resistencia a la abrasión, corrosión			PD			DI									CM
<b>PROPULSIÓN</b>															
8. Pilas de Combustible			PD			DI									CM
<b>EQUIPOS DE INTERIOR</b>															
13. Protección			TE	PD		DI									CM
<b>VARIOS</b>															
14. Sensores y actuadores			TE			DI									CM

TE Tecnología Emergente

PD Prototipo o Demostrador

DI Desarrollo Industrial

CM Comercialización en los Mercados

## Aplicaciones Estructurales

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
1.	Aligeramiento	3,92	2011 - 2015
4.	Materiales compuestos, neumáticos...	3,75	2010

Entendiendo por aplicaciones estructurales aquéllas en las que se explotan o aprovechan las propiedades y/o características masivas de los materiales, los cuatro temas planteados en esta área persiguen el logro de avances importantes en relación con algunos de los desafíos actuales del

transporte, mediante estrategias de mejora del comportamiento mecánico y/o térmico de los materiales, y descartan por lo tanto otros ámbitos de desarrollo estructural como, por ejemplo, el de la mejora de propiedades magnéticas.

La optimización de las características de los materiales a través de pautas de control microestructural como reducción de tamaño de grano, precipitación de segundas fases, dispersoïdes, etc., es bien conocida desde antaño. Sin embargo, la reciente constatación del logro de propiedades inusitadas en materiales nanoestructurados y/o nanoreforzados abre la posibilidad de obtener el máximo aprovechamiento de los mismos en aplicaciones estructurales. El diseño y producción de esta clase de materiales con propiedades a medida requiere, no obstante, la superación de importantes retos tanto en el plano teórico donde faltan por dilucidar aspectos clave como el de la comprensión de los mecanismos básicos de deformación plástica y de fractura; como en el plano práctico donde es preciso disponer de métodos de producción a gran escala y bajo coste que generen y/o mantengan los aspectos microestructurales deseados en el límite de la nanoescala.

En este contexto, los temas propuestos en la encuesta plantean la búsqueda de nuevas soluciones para el aligeramiento, la absorción de energía, los materiales para condiciones extremas y los materiales compuestos. De estos cuatro temas, la encuesta revela como ámbitos de la máxima importancia en esta área, el desarrollo de aplicaciones para el aligeramiento (tema 1) y el desarrollo de materiales compuestos, neumáticos, etc., (tema 4).

El aligeramiento de los vehículos (tema 1) es una estrategia para reducir de forma eficaz y directa el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes. También puede tener, indirectamente, un efecto benéfico sobre las emisiones gracias al menor consumo de materias primas y de la energía necesaria para su transformación. Sin embargo, la voluntad manifiesta de reducir el peso de los vehículos se enfrenta con otros requerimientos no menos importantes y

frecuentemente contrapuestos (seguridad, confort, coste, etc.) que hacen difícil el cumplimiento de esta premisa. De hecho, los vehículos pesan cada vez más, a pesar de las continuas mejoras en este sentido, por lo que el recurso a las nanotecnologías en las aplicaciones para el aligeramiento se fundamenta en la esperanza de alcanzar grandes mejoras, incluso rupturas, con las que poder superar el horizonte de desarrollo de las soluciones actualmente imperantes.

En la actualidad, todo indica que los futuros vehículos de transporte seguirán incorporando las mismas clases de materiales que se utilizan hoy en día, pero su distribución y características variarán a favor de un uso creciente de materiales más ligeros frente a los de mayor densidad gracias a la aplicación de las nanotecnologías. Las versiones “avanzadas” –nanoestructuradas y/o nanoreforzadas– con alta resistencia y bajo peso, de los actuales aceros y materiales féreos, de las aleaciones ligeras de Al, de Mg y de Ti, de los plásticos y materiales compuestos, etc., en combinación con nuevos recubrimientos, autorizarán reducciones crecientes de peso sea por las mayores propiedades específicas de cada material, sea mediante la sustitución del material de un componente por otros más ligeros. Las mejoras realizadas permitirían alcanzar en el futuro reducciones de hasta el 20-30% del peso en aviones y automóviles. Sin embargo, el enorme potencial de los nuevos materiales avanzados solo podrá ser realmente explotado en la medida que faciliten nuevos diseños (diseño multi-material y materiales multi-funcionales, caracterización para modelización y predicción de comportamiento, evaluación, etc.) y se desarrollen nuevos métodos y tecnologías de fabricación de gran cadencia y bajo coste (tecnologías de unión, conformado, tratamiento térmicos y superficiales, tecnologías de reciclado, etc.) capaces de retener los beneficios aportados por el material de base y de eludir los riesgos inherentes al uso de los nanomateriales.



Una línea de investigación de gran importancia es el desarrollo de materiales compuestos, de neumáticos, etc. (tema 4) nanoreforzados mediante la incorporación de (nano)partículas. Estos materiales persiguen el logro de mejoras sustanciales con respecto a sus equivalentes actuales, en las características mecánicas, eléctricas, ópticas, etc., o en su comportamiento ante el fuego o el calor entre otros. La incorporación de nanofibras, de nanotubos de carbono, de nanoespumas de carbono, de nanoarcillas, POSS y otras nanopartículas en los compuestos de matriz polimérica, combinan unas buenas características mecánicas con un bajo peso y ofrecen un importante atractivo para aplicaciones estructurales en la industria aeroespacial pero también para la industria de automoción, donde ya se relatan las primeras aplicaciones industriales. En el caso de los neumáticos la incorporación de nanopartículas de negro de carbón, de nanoarcillas, de silica, etc., persigue mejorar la resistencia a la rodadura (responsable de hasta el 20% del consumo de combustible), la resistencia a la abrasión y al desgaste, la rigidez, las características de fatiga o, incluso, la reducción de peso y del coste, etc., sin merma de los requisitos de seguridad. Entre los principales obstáculos para el desarrollo de estos materiales se citan los asociados al escalado o necesidad de pasar de los prototipos a la escala industrial garantizando los niveles de calidad y fiabilidad típicos de los vehículos del transporte (p.ej.: el control preciso de la talla y morfología de las nanopartículas, su funcionalización, su aglomeración y/o falta de alineación, el control en tiempo real de la calidad en los procesos productivos, etc.) y su coste.

En opinión de los expertos, el grado de desarrollo del tema 4 (materiales compuestos, neumáticos...) se encuentra en un estado muy avanzado por lo que se espera que las aplicaciones desarrolladas pasen a la fase de comercia-

lización a partir de 2010. En el caso de las aplicaciones estructurales para el aligeramiento de los vehículos (tema1) esta fase de comercialización no será alcanzada hasta después de 2015. En ambos casos la situación de dependencia tecnológica del exterior que existe en la actualidad disminuirá a partir de 2010, para pasar a una situación de 'mix' tecnológico gracias a los desarrollos alcanzados a nivel nacional.

A tenor de los resultados obtenidos ambos temas poseen un elevado atractivo tanto desde la perspectiva de la ciencia y tecnología como de mercado, pero especialmente en el caso de las aplicaciones para el aligeramiento donde la capacidad científica y tecnológica existente en España es equivalente a la de los países de su entorno. Por lo demás, la posición de España es superior a la media de estos países de referencia tanto en el tema 1 como en el tema 4.

El principal aspecto crítico a resolver en los dos temas es el desarrollo de nuevos conocimientos en ciencia y tecnología y, en segundo lugar, la puesta en marcha de mecanismos de difusión y transferencia de tecnología. También merece la pena destacar la percepción de que se necesitan equipamientos e infraestructuras adecuados a estos desafíos.

En fin, para el seguimiento del grado de cumplimiento de estos temas se proponen los indicadores siguientes:

- La reducción de peso en vehículos nuevos con respecto a sus equivalentes actuales.
- El porcentaje de materiales nanoestructurados en aplicaciones estructurales.
- El porcentaje de materiales compuestos nanoestructurados incorporados al vehículo.

## Superficies (multi)Funcionales

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
6.	Dureza, resistencia a la abrasión, corrosión	3,75	<2010 - 2015

Los materiales se relacionan con su entorno a través de su superficie, que determina no solo su aspecto estético sino también gran número de sus funcionalidades y, con frecuencia, incluso el ciclo de vida útil de piezas y componentes que finaliza con el deterioro progresivo de las superficies o con fenómenos que tienen su origen en las mismas.

Las implicaciones económicas del acondicionamiento de las superficies y de su recubrimiento son enormes, pues optimizan la vida de las aplicaciones y autorizan el uso de materiales de base más baratos o más adecuados a otros requisitos (p. ej.: aligeramiento). En las aplicaciones del transporte, la ingeniería de superficies y sus tecnologías contribuyen de forma determinante a la fabricación de los vehículos y suponen la clave de muchas de sus prestaciones y de buena parte de sus costes de fabricación.

Por otro lado, las condiciones de trabajo o de contorno de muchas aplicaciones pueden o variar, o ser simultáneamente múltiples a lo largo de su ciclo de vida, haciendo difícil o imposible dar respuesta a todos los requisitos mediante recubrimientos simples. En estos casos, el desarrollo de superficies multifuncionales, con recubrimientos multi-componentes y/o multicapas que poseen diferentes composiciones químicas y diferentes fases a lo largo del material, permite alargar considerablemente la vida en servicio adaptando la respuesta de los componentes a los requisitos múltiples y/o variables de cada momento o situación.

En este contexto la aportación de las nanotecnologías puede ser fundamental ya que permite el diseño y producción de recubrimientos 'a medida' que mejoran drásticamente las prestaciones requeridas en las actuales aplicaciones pero, además, el uso de nanopartículas y el control de la nanoescala en los recubrimientos está haciendo emerger nuevas propiedades que multiplican su potencial de uso.

El presente estudio utilizó esta área para interrogar a los expertos sobre las aplicaciones de las nanotecnologías en superficies (multi)funcionales para el transporte. De los tres temas planteados: "rozamiento cero" (tema 5), "dureza, resistencia a la abrasión, corrosión" (tema 6) y "superficies adherentes, autolimpiables, electrocrómicas, óptica, conductores..." (tema 7); el tema 6 fue seleccionado como uno de los temas relevantes para el transporte por su elevado Índice Grado de Importancia.

El desarrollo de recubrimientos nanoestructurados con mayor dureza, resistencia a la abrasión y al desgaste, resistencia a la corrosión, barreras térmicas, etc., para el logro de vehículos con mejores sistemas de propulsión, estructuras más ligeras, mayores prestaciones y longevidad, y a menor coste, centra la atención de numerosas investigaciones en el ámbito de la nanotecnología. La variedad, relevancia y volumen de los mercados del transporte supone un atractivo indudable para impulsar estos desarrollos y ya se proponen en el mercado diversas soluciones como recubrimientos



anti-rayado para automoción, recubrimientos anti-incrustaciones (antifouling) para barcos, recubrimientos anti-desgaste y de baja fricción para componentes en movimiento relativo, barreras térmicas para propulsión aérea, recubrimientos anticorrosivos para aleaciones ligeras base Mg, pinturas, etc.

En opinión de los expertos, el grado de desarrollo de las aplicaciones del tema 6 estará en fase de desarrollo industrial hasta 2015, a partir de donde se comercializará en los mercados, con gran accesibilidad para los consumidores. En todo el horizonte temporal explorado, España dispondrá de un dominio tecnológico razonable y coexistirán las tecnologías de desarrollo nacional con las extranjeras, probablemente como consecuencia de la mejor posición de España con respecto a los países de su entorno tanto en cuanto a su potencial de desarrollo científico-tecnológico como a su capacidad de producción y comercialización de estas tecnologías. No debe extrañar, por lo tanto, la consideración de los expertos sobre el elevado interés y atractivo de este tema, tanto en ciencia y tecnología como en mercado.

Los factores críticos que será preciso resolver son, con idéntica valoración, el desarrollo de conocimiento científico y tecnológico, la disponibilidad de equipamientos e infraestructuras adecuados y el desarrollo de mecanismos de difusión y transferencia de tecnología.

Como indicadores de seguimiento se propone utilizar la evolución (%) del número de piezas con recubrimientos

nanoestructurados con respecto a los componentes con recubrimientos convencionales en aplicaciones tribológicas y para la resistencia a la corrosión en vehículos de transporte.

## Propulsión

La mejora de los sistemas de propulsión convencional y el desarrollo de nuevos sistemas de propulsión para vehículos de transporte constituyen un elemento clave ante los actuales desafíos ambientales y de dependencia de los combustibles fósiles (el transporte representa el 28% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y el 70% del consumo de petróleo de la UE). Las aplicaciones de las nanotecnologías en esta área del transporte son numerosas pero en general se encauzan a través del desarrollo de nanomateriales orientados a mejorar el rendimiento y la fiabilidad del sistema de propulsión y a la reducción de costes.

De los cuatro temas propuestos en esta área (pilas de combustible, baterías, catalizador de escape, y materiales para alta temperatura) el tema de las pilas de combustible (tema 8) ha sido valorado por los expertos como el de mayor importancia de la encuesta del transporte. Su desarrollo está estrechamente ligado al desarrollo de la “*economía del hidrógeno*” que propone el uso de este elemento para reemplazar a los combustibles fósiles y combatir así la presión medioambiental que genera su uso.

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
8.	Pilas de Combustible	4,00	2011 - 2020

Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos que –en presencia de un catalizador– transforman la energía química de un combustible (generalmente  $H_2$ ) en electricidad y agua, con un elevado rendimiento ( $>50\%$ ), sin recurrir a componentes móviles y, prácticamente, sin emisión de contaminantes. Por lo tanto, comparadas con los motores de combustión interna, las pilas de combustible proporcionan ventajas teóricas enormes para su explotación en los futuros vehículos de transporte: mayor eficiencia de conversión, “cero” o muy baja emisión de gases contaminantes, flexibilidad de combustible y ausencia de ruido.

Lógicamente, los diferentes medios de transporte recurren a diferentes familias de pilas de combustible para dar respuesta a sus necesidades particulares de conversión de energía, pero es ampliamente aceptado que, por sus elevadas implicaciones en la economía y el medio ambiente, las aplicaciones en el sector de automoción son el gran tractor del desarrollo de las pilas de combustible.

En este contexto, y si se obvian los problemas ligados al suministro y almacenamiento del hidrógeno, el desarrollo de las pilas de combustible debe superar dos retos fundamentales: su elevado coste y su limitado tiempo de vida. Probablemente, el principal aspecto crítico para el logro de estos objetivos es el desarrollo del conjunto membrana-electrodo (MEA ó Membrana-Electrode Assembly) donde la aportación de los nanomateriales y sus procesos de fabricación puede ser de gran relevancia dados los beneficios que teóricamente aportan las nanoestructuras al proceso de catálisis (véase también el capítulo 5.3) y a la conducción iónica en los electrolitos sólidos.

En el primer caso, se trata de reducir el contenido en platino y metales nobles del catalizador sin merma de su

eficiencia o incluso aumentándola, y mejorando su tolerancia a la presencia de contaminantes ( $CO$ , compuestos sulfurados, etc) que acaban agotando el catalizador. Las vías emprendidas para resolver este problema son múltiples pero, básicamente, se resumen a la combinación de alternativas de material y proceso, como por ejemplo el desarrollo de nanopartículas recubiertas de  $Pt$  por segregación de este metal en la superficie, nanopartículas amorfas, etc., y de sus procesos de elaboración y deposición.

En el segundo se trabaja en el desarrollo de membranas poliméricas de bajo coste y alta eficiencia, capaces de operar a mayor temperatura ( $>120\text{ }^\circ C$ ) que las actuales pilas tipo PEM para aliviar el efecto adverso del  $CO$  sobre el catalizador al tiempo que aseguran una buena estabilidad ante la degradación térmica y una elevada conductividad protónica. Las líneas de investigación exploradas en la actualidad abarcan el desarrollo de membranas inorgánicas con nanopartículas de óxidos porosos y otras composiciones más complejas basadas en fósforo, el desarrollo de membranas híbridas polímero-inorgánicas, el desarrollo de diversas familias de polímeros sulfonados (BPS, PPBP, PBI, PEEK...), etc.

Aunque las bases para el desarrollo de las pilas de combustible se encuentran relativamente bien establecidas, los expertos consultados estiman que el período de desarrollo industrial de las pilas de combustible se extenderá entre el 2011 y el 2020, por lo que la fase de comercialización a gran escala, característica del sector de automoción, no se dará hasta después de esta fecha. A lo largo de este período, se pasará progresivamente de una situación inicial de dependencia tecnológica del exterior a una situación de mix tecnológico en la que, a partir de ~2013, los nuevos desarrollos incorporarán tanto tecnologías nacionales como extranjeras.



La posición de España en cuanto a capacidad científico-tecnológica y a aplicabilidad industrial de los desarrollos alcanzados en este tema es superior a la de los países de referencia de su entorno. Igualmente, el tema posee un gran interés y atractivo por las expectativas que genera tanto para los avances en ciencia y tecnología como para la explotación en los mercados de los desarrollos previstos a nivel nacional. Consecuentemente, los expertos señalan que el principal aspecto crítico a resolver para hacer posible la materialización de este tema se encuentra, en primer lugar, en el desarrollo de mecanismos de difusión y transferencia de tecnología y, en segundo lugar y con la misma valoración, en el desarrollo de conocimiento científico-tecnológico y en la necesidad de equipamiento e infraestructura adecuados.

Los indicadores de seguimiento propuestos para este tema son:

- Número de vehículos con pilas de combustible.
- Número de pilas de combustible para transporte ofertadas en el mercado, con componentes que incorporan nanotecnologías.

## Equipos de Interior

El presente apartado se destinó a la consulta a los expertos sobre la aplicación de la nanotecnología en los equipos de interior destinados al confort y a la protección de los pasajeros. A tenor de los resultados obtenidos, el ámbito de la protección de pasajeros (tema 13) es uno de los temas más

importantes de las aplicaciones de la nanotecnología en el transporte.

Si bien la primera opción de toda estrategia de seguridad consiste en evitar que el accidente se produzca, una vez que éste se da se debe garantizar la integridad de los ocupantes evitando o minimizando los daños que estos pudieran sufrir en la cabina del vehículo como consecuencia del siniestro.

Dejando aparte las aplicaciones electrónicas asociadas a los sistemas reactivos de protección (electrónica de disparo de airbags, sistemas de retención, sensores de pre-impacto, etc.) que se ubicarían mejor en el contexto del párrafo siguiente ("VARIOS"), los desarrollos en éste tema están relacionados con las aportaciones de los nanomateriales a los recubrimientos y sistemas de acolchado interior ('padding'), asientos y componentes de la cabina del vehículo, etc., a fin de garantizar una baja agresividad para las personas, en combinación con unas elevadas prestaciones en relación con la inflamabilidad, toxicidad y emisión de humos, reciclabilidad y bajo coste. En este ámbito, las mejores propiedades mecánicas y características de inflamabilidad de los polímeros nanocompuestos, y en particular de polímeros nanocompuestos con (nano)refuerzos arcillosos (CPNC), genera grandes expectativas para futuras aplicaciones en equipos de interior de automoción a pesar de su actual coste y escasa reproducibilidad de sus prestaciones. Otras líneas de investigación se orientan hacia el desarrollo de fibras de nanocompuestos y de textiles avanzados multifuncionales y/o inteligentes (véase también "TEXTIL").

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
13.	Protección	3,78	2011 - 2015

A tenor de los resultados obtenidos, las aplicaciones de las nanotecnologías en este tema estarán en fase de desarrollo industrial entre 2011 y 2015 y, a pesar de que a partir de esta fecha ya se comercializarán en los mercados, los expertos consideran que se dará una situación de dependencia tecnológica del exterior en todo el período temporal analizado. En coherencia con estos resultados, se considera que la posición de España en cuanto a capacidad científico-tecnológica y de aplicabilidad industrial no supera a la de los países de referencia de su entorno a pesar del interés y atractivo del tema. La principal limitación vista por los expertos es la necesidad de equipamientos e infraestructuras adecuadas para el desarrollo de aplicaciones en esta área, seguido de la necesidad de desarrollar nuevo conocimiento científico-tecnológico.

## Varios

En la encuesta enviada a los expertos en nanotecnologías en el ámbito del transporte, figuraba un apartado de tipo miscelánea en el que se les interroga sobre tres temas de carácter diverso (ver Anexo 2): (i) sensores y actuadores; (ii) antenas para comunicación; y (iii) herramientas de corte. Es obvio que dichos temas tienen poca conexión entre sí y esta es la razón de formar un grupo de temas varios.

El tema que posee más respuestas es el correspondiente a sensores y actuadores, mientras que los otros dos han recibido menos. Esto es así porque el tema de sensores y actuadores es muchísimo más amplio que los otros dos,

mucho más concretos y focalizados, por lo que es fácil encontrar expertos que en algún momento hayan tenido algo que ver con el tema en cuestión. De los tres temas se ha elegido únicamente al primero (sensores y actuadores) como relevante para el estudio de prospectiva por su mayor índice de grado de importancia (IGI). También hay que tener en cuenta que los otros dos temas han tenido menos respuestas de expertos, por lo que la representatividad del estudio en estos casos no es tan clara y se ha considerado que es mejor no tratarlos como líneas clave con respecto de la Nanotecnología en el sector del transporte.

Centrando el análisis en el tema de sensores y actuadores, el estudio revela que existe un grandísimo interés por el desarrollo del mismo, ya que se pronostica que se pasará de la fase de tecnología emergente a la de desarrollo industrial de forma decidida y rápida, sin casi tiempo para la existencia de una fase de maduración (creación de demostradores tecnológicos). Se puede decir que en estos momentos estamos en una fase de tecnología emergente, pero que en el año 2011 nos encontraremos en la fase de desarrollo industrial. En el periodo 2016-2020 existirá ya una plena comercialización en los mercados de sensores y actuadores basados en nanotecnología. Esta veloz incorporación de nanosensores y nanoactuadores a la industria del transporte indica que existen factores tructores que ayudan a este desarrollo, Por un lado tenemos un gran mercado, vinculado a la industria del transporte, generado por un mundo con economía global y por la existencia de una sociedad que ha internalizado el concepto de viaje como

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
14.	Sensores y actuadores	3,75	2011 - 2015



parte de su ocio. Por otro lado existe la necesidad de (i) aumentar la funcionalidad y la seguridad de los vehículos de todo tipo de transporte (terrestre, aéreo, naval), (ii) mejorar todos los automatismos hasta llegar a la conducción automática (disminuyendo el factor humano en la siniestralidad), y (iii) aligerar el peso de los vehículos para lograr una disminución de emisiones y un ahorro de combustible. De hecho se requiere que todas estas características se den de forma simultánea y es en esta convergencia de necesidades donde las nanotecnologías resultan muy prometedoras. Quizás esta necesidad de optimizar el tamaño y aumentar las prestaciones de sensores y actuadores es más acuciante en el sector del transporte que en otros sectores industriales.

No conviene olvidarse de que el tema de los sensores/actuadores es transversal, y afecta de lleno a multitud de sectores empresariales, tanto en la mejora de los procesos de fabricación, como incorporándolos directamente en productos de uso en el ámbito cotidiano, en aplicaciones domésticas, etc. Por lo tanto, nos encontramos en un tema que tiene más implicaciones que las que puedan pensarse para el sector transporte.

Dada la importancia que tiene este sector en la economía española, donde existe una fortísima actividad de cientos de empresas nacionales en torno a fabricantes multinacionales, no es de extrañar que los expertos consideren que en menos de 15 años se va a pasar de una situación de dependencia del exterior a otra en la que existirá un dominio tecnológico nacional. En este caso se puede afirmar que esta predicción tiene una fuerte componente de necesidad, de obligatoriedad, dado que mantener la actividad de estas empresas en España estará condicionado al desarrollo de unas capacidades de fabricación de instrumentación, de

sensores, de actuadores, etc que permitan anclar dicho tejido industrial en nuestro entorno geográfico. Si otros países desarrollan estas tecnologías serán candidatos a que los grupos multinacionales de fabricación de vehículos establezcan en ellos sus empresas de ensamblado.

Este optimismo en cuanto al futuro dominio tecnológico en el sector de sensores y actuadores se apoya en nuestra fuerte capacidad científico-técnica y en las grandes posibilidades de aplicación industrial que existen en España. Por lo tanto el desarrollo de este tema es muy atractivo para el sector industrial y para el sector académico. Este es uno de los pocos temas en los que se observa que existe un fuerte "tirón" por parte de la industria, y que dicho empuje es mayor que el interés que el tema despierta en grupos de investigación de Universidades y Centros Públicos de Investigación.

En cuanto a los factores críticos hay que mencionar que en este tema ocurre lo mismo que ya se ha encontrado para otras áreas temáticas que se abordan en este informe. Si se desea tener una posición dominante es necesario seguir aumentando el conocimiento científico-técnico de las mismas y disponer de infraestructuras y equipamientos adecuados para la I+D+i. En este tema, la existencia de unos adecuados mecanismos de transferencia de conocimientos se revela como un factor crítico igual de importante que el desarrollo de nuevo conocimiento.

Como indicador que permita confirmar las tendencias en el tema de sensores y actuadores, se podría considerar el siguiente:

- Volumen de negocio de aquellos sensores nuevos basados en nanotecnologías en relación con otros sensores convencionales.

## Conclusión

La variedad, relevancia y volumen de los mercados del transporte supone un atractivo indudable para impulsar la aplicación de las nanotecnologías incorporadas a productos y tecnologías destinados a este sector. Las aplicaciones potenciales son numerosas y afectan a muy distintas disciplinas, por lo que el presente cuestionario se diseñó con el ánimo de conocer los ámbitos de aplicación más relevantes del sector en opinión de los expertos consultados. De los 16 temas propuestos se seleccionaron los 6 que obtuvieron mayor Índice Grado de Importancia (IGI), como los más relevantes para las aplicaciones de las nanotecnologías en el transporte desde la perspectiva española, aunque todos los temas fueron considerados por los expertos como relativamente importantes.

Estos seis temas a los que mayoritariamente se reconoce una mayor importancia son también los que mayor número de expertos movilizan, por lo que no es de extrañar que, generalmente, sean los que mayor atractivo suscitan en este colectivo. Los temas en cuestión se orientan hacia el logro de vehículos más eficientes, sin emisiones contaminantes, más seguros e inteligentes, mediante el desarrollo de aplicaciones estructurales para aligeramiento de vehículos (tema 1) los materiales compuestos, neumáticos, etc. (tema 4); las superficies (multi)funcionales de gran dureza, resistencia a la abrasión, corrosión (tema 6); la propulsión mediante pilas de combustible (tema 8); los equipos de interior para protección de pasajeros (tema 13); y el desarrollo de sensores y actuadores (tema 14).

Se trata de temas relativamente maduros ya que, en todos los casos, estarán en fase de desarrollo industrial a partir de 2010 y donde ya se proponen en la actualidad algunos productos comerciales. Estos temas han sido tratados con mayor extensión en los diferentes apartados de este capítulo pero, desde una perspectiva general, sorprende la poca o nula valoración que los expertos realizan sobre los aspectos regulatorios relacionados con la salud, la seguridad y el medio ambiente (salvo en el tema 13), en clara contradicción con las advertencias y mensajes de precaución sobre los riesgos potenciales del uso de nanopartículas procedentes de diversas y reconocidas instituciones.

En fin, se citan un conjunto de indicadores genéricos que podrían ser utilizados indistintamente para el seguimiento de todos los temas relevantes identificados en la encuesta sobre aplicaciones del transporte:

- Número de proyectos e inversión en I+D+i por temática (tanto proyectos públicos como privados incluyendo inversiones en equipamiento).
- Personal científico específico dedicado a I+D+i o trabajando en cada temática.
- Número de patentes registradas y en explotación relacionadas con los temas.
- Número de empresas de nueva creación y/o con una nueva actividad en cada ámbito.
- Etc.



# Aplicaciones de las Nanotecnologías en la Energía y el Medio Ambiente

Joan Ramón Morante<sup>1</sup>

El cuestionario sobre “*Aplicaciones de las Nanotecnologías en la Energía y el Medio Ambiente*” plantea 18 temas de futuro en relación con las siguientes áreas de aplicación de este ámbito sectorial:

- Energías Renovables.
- Hidrógeno y Pilas de Combustible.
- Almacenamiento y Transporte de Energía.
- Eficiencia.
- Medio Ambiente.

En estas áreas, la incidencia de las nanociencias y nanotecnologías esta basada en el control de propiedades, principalmente químicas, eléctricas y ópticas, de materiales a nivel nanométrico. Esto permite abordar la aplicación de características y nuevas

---

<sup>1</sup> Prof. Catedrático d'Electrònica. Universitat de Barcelona.  
Director del Centre de Referència de Materials Avançats per a l'Energia de la Generalitat de Catalunya (CERMAE).

propiedades que resultan fundamentales para la administración de los mecanismos de transducción física y/o química a eléctrica en sus aspectos relacionados con la producción y uso eficiente y racional de la energía. En consecuencia, procesos como los fotovoltaicos, termoeléctricos, fotoquímicos, de emisión de campo eléctrico, de combustión, transmisión-absorción... o aquellos relacionados con la catálisis o fotocatalisis, junto con materiales nanoestructurados ofrecen un nuevo marco de soluciones para áreas de aislamiento, iluminación, combustión limpia, pilas de combustibles, almacenamiento de energía, supercapacidades, baterías, células solares, termoelectricidad, medida y control del impacto medioambiental, etc. Asimismo, ciertas propiedades mecánicas de los nanomateriales también inciden en el área energética permitiendo nuevos materiales compuestos, recubrimientos, fibras, etc., fundamen-

tales para los nuevos sistemas de producción, transporte, almacenamiento y distribución de la energía.

## Temas Más Relevantes del Cuestionario

Tal como ya se ha comentado en los capítulos anteriores, el criterio de relevancia seguido en el estudio es el Índice Grado de Importancia (IGI). La **Figura 17** muestra la clasificación de los temas más relevantes del cuestionario según dicho índice, excluyendo a la derecha aquellos temas en los que el bajo número de respuestas no autoriza su consideración en el presente estudio al margen de las valoraciones que hayan podido recibir.

Los temas con mayor puntuación representan para los expertos las principales inquietudes de futuro en relación con las nanotecnologías.

FIGURA 17. CLASIFICACIÓN DE LOS TEMAS SEGÚN EL ÍNDICE DE GRADO DE IMPORTANCIA (IGI)

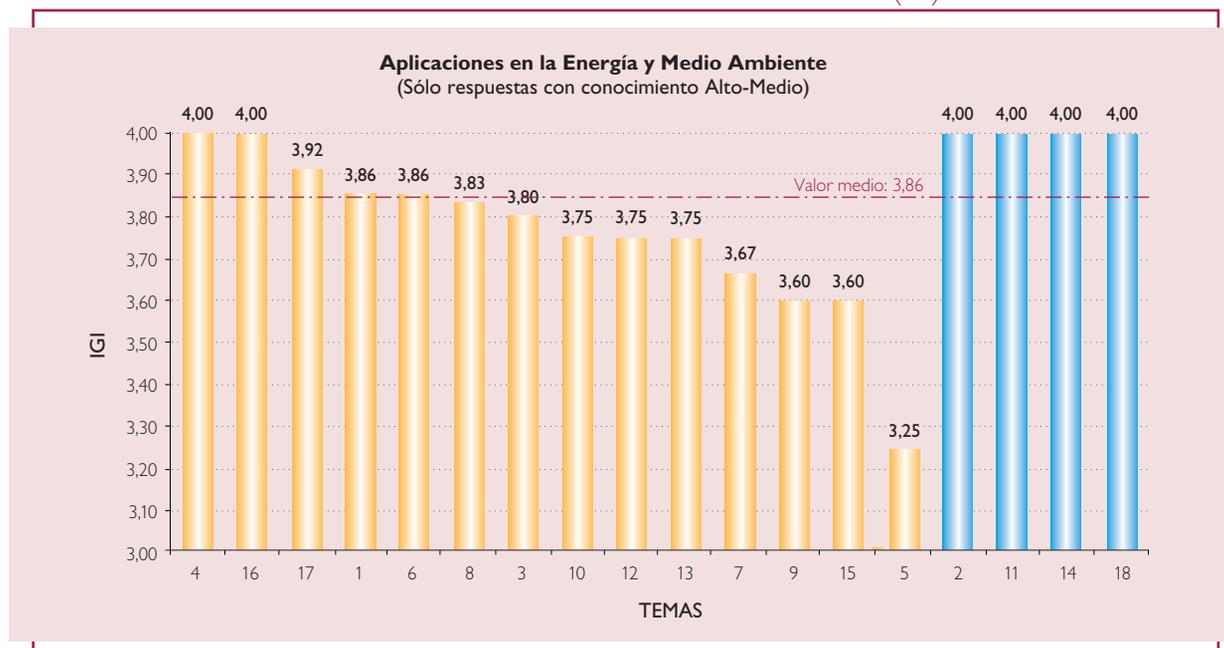
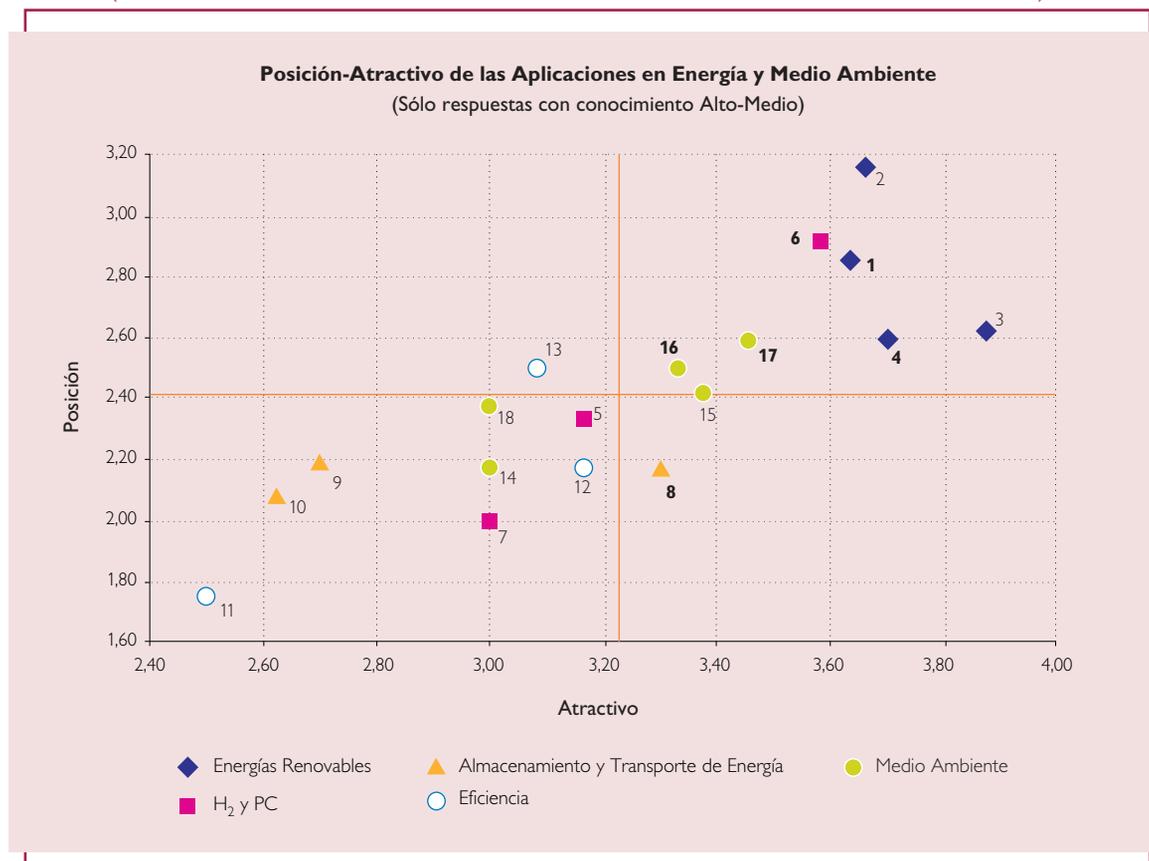




FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN DE LOS TEMAS EN FUNCIÓN DE SUS ÍNDICES MEDIOS DE POSICIÓN Y ATRACTIVO PARA ESPAÑA (LA NUMERACIÓN EN NEGRITA CORRESPONDE A LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO)



La representación gráfica de los valores medios de las Índices de Posición y de Atractivo para España obtenidos en cada uno de los temas, completa la información precedente. La **Figura 18** representa la distribución de los temas del cuestionario de nanotecnologías, destacando en negrita la ubicación de los temas más relevantes del mismo.

Tal como se aprecia en dicha figura, el plano resultante se

divide en cuatro cuadrantes mediante el trazado de dos líneas perpendiculares al valor medio de cada variable. El cuadrante superior derecho representa los temas que teniendo un valor alto de posición de España poseen un gran atractivo y, por lo tanto, suponen ámbitos consolidados de especialización que generan grandes expectativas. Los temas que se encuentran en este cuadrante y, además, son importantes constituyen fortalezas a reforzar o mantener.

El cuadrante inferior derecho representa los temas de gran atractivo pero con un índice de posición de España inferior a la media, reflejando una clara debilidad relativa a pesar del interés que suscitan los temas que se ubican en el mismo. Los temas que quedan en este cuadrante y son importantes suponen apuestas estratégicas sobre las que se deberá decidir en torno a la oportunidad de su reforzamiento u abandono.

TABLA 6. GRADO DE DESARROLLO PREVISTO EN LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO SOBRE APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN LA ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

TEMA	Grado de Desarrollo														
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	>2020
<b>ENERGÍAS RENOVABLES</b>															
1. Solar Fotovoltaica y fotoquímica	PD			DI			CM								
4. Biocombustibles	TE	PD				CM									
<b>H<sub>2</sub> Y PILAS DE COMBUSTIBLE</b>															
6. Catalizadores	PD	DI	CM												
<b>ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE ENERGÍA</b>															
8. Almacenamiento de H <sub>2</sub>	TE				PD				DI	CM					
<b>MEDIO AMBIENTE</b>															
16. Descontaminación, remediación	TE	DI	CM												
17. Sensores, biosensores...	TE	PD	DI	CM											

TE Tecnología Emergente

PD Prototipo o Demostrador

DI Desarrollo Industrial

CM Comercialización en los Mercados

Partiendo de los resultados generales del estudio y de estas informaciones, el análisis y valoración realizados por el Panel de Expertos concluyó considerando como “temas relevantes” los 6 primeros temas de mayor índice IGI. La **Tabla 6** lista este conjunto de temas relevantes, mostrando el grado de desarrollo que, en opinión de los expertos, irán alcanzado desde la actualidad hasta el año 2020 y posteriores.



## Energías Renovables

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
1.	Solar fotovoltaica y fotoquímica	3,86	2011 - 2015
4.	Biocombustibles	4,00	2015 (de PD a CM directamente)

Independientemente de las reservas existentes y del uso futuro de combustibles fósiles y/o combustibles nucleares, que depende directamente de los resultados de la discusión dialéctica entre las compañías del sector energético y las autoridades públicas, es un hecho evidente que la única reserva disponible de energía es la solar. Ésta debe, por tanto, captarse, transformarse y facilitarse en las formas que en la actualidad mayormente utilizamos la energía: energía eléctrica, esencial para el sector industrial y terciario, y/o derivados del petróleo como elemento esencial para los sistemas de automoción. En consecuencia, el reto actual radica en controlar con la máxima eficiencia los procesos de transducción de energía óptica a energía eléctrica –efecto fotovoltaico- y de energía óptica a energía química –efecto fotocatalítico- para poder disponer de una materia o sustancia transportadora de energía que permita reemplazar a los actuales combustibles líquidos derivados del carbón con alternativas libres de emisión de CO<sub>2</sub>.

El efecto fotovoltaico es ampliamente conocido, y desde sus primeros logros en la década de los cincuenta, ha ido principalmente evolucionando en el contexto definido por la industria electrónica del silicio. En la actualidad, a pesar de la aparente madurez de la industria solar fotovoltaica, hay dos mayores inconvenientes que frenan su penetración como energía alternativa. Estos son los costes y la escasez de silicio como materia prima para la industria fotovoltaica y ambos

tienen respuesta desde las nanociencias y las nanotecnologías. El uso de ciertos materiales nanoestructurados permite incidir en las características de absorción óptica, en la separación de los pares electrón hueco, su transferencia entre diversos materiales componentes del dispositivo y en su respectivo transporte hacia los electrodos del sistema eludiendo las anteriores dificultades y permitiendo el desarrollo de tecnologías de bajo costes, compatibles con grandes superficies.

Hay diferentes nanomateriales y combinaciones de ellos, -inorgánicos y orgánicos- pero su punto crítico está en la obtención de un nivel adecuado de eficiencia a bajos costes manteniendo también el ciclo de vida requerido para dispositivos fotovoltaicos. El horizonte de los valores reclamados están en 14-15% para las eficiencias y en menos de 75€/m<sup>2</sup> para poder alcanzar costes de menos de 0,8€/W sin disminuir la vida útil en menos de 15 años de operación continua.

En este contexto, el uso de nanoestructuras, por ejemplo puntos cuánticos, con propiedades de absorción óptica extensible a un amplio rango del espectro relacionadas con los efectos de cuantificación, permite asegurar la satisfacción de los requerimientos indicados. Sin embargo, a pesar de la amplia pléyade de materiales y combinaciones orgánicas-inorgánicas o del tipo de material semiconductor, únicamente aquellas alternativas con suficiente nivel de eficiencia serán económicamente competitivas.

Alternativamente, al efecto fotovoltaico, la energía empleada a partir de los fotones para la producción de portadores en una nanoestructura pueda ser, vía recombinación, utilizada para la descomposición de moléculas adsorbidas en la superficie, que en el caso del agua daría lugar a la producción de hidrógeno. Ello permite augurar una prometedora ruta para la producción directa de hidrógeno a partir de la luz del sol, descomponiendo la molécula del agua en hidrógeno y oxígeno. Los mayores logros que demuestra la viabilidad de esta ruta han sido alcanzados iluminando con luz UV nanopartículas de óxido de titanio. Los mayores retos están en obtener respuesta a mayores longitudes de onda extendiendo el rango de fotones válidos a la zona del visible. Paralelamente, es preciso el control del tamaño de las nanopartículas así como del tipo y distribución de aditivos catalíticos. Datos iniciales indican que se pueden alcanzar eficiencias mayores del 10% lo que confirmaría su viabilidad comercial.

Recientemente, se ha propuesto una captura combinada del espectro solar a partir de la combinación de materiales nanoestructurados capaces de absorber la parte alta del visible y del infrarrojo para el efecto fotovoltaico y ello conjuntamente con nanomateriales capaces de absorber la parte de longitud de onda corta del espectro solar para la producción directa de hidrógeno. Esta podría ser favorecida mediante polarización de la capa absorbente obtenida directamente a partir de la energía eléctrica fotovoltaica.

Esta metodología es escalable y permitiría proveer de fuentes de energía “verdes” obtenidas directamente de la energía solar con el consiguiente aumento de eficiencia, disminución de costes y distribución de energía.

Hay también muchos sistemas vivos que dan ejemplos de mecanismos funcionales que pueden tomarse como vías alternativas para obtener metodologías de conversión directa

de la energía solar. Estos sistemas naturales o los bio-inspirados en ellos llevan a cabo funciones como la conversión de la energía solar en energía química, catálisis selectiva, obtención o alteración de materiales y/o moléculas. El acoplamiento de procesos biológicos a componentes inorgánicos permite nuevas vías fotosintéticas para la captación de energía y su conversión directa en electricidad o en combustible libre de carbono como el hidrógeno o en la obtención de sustancias útiles también como combustibles pero con bajo/mínimo impacto medioambiental.

Este último objetivo es también buscado mediante la producción de biocombustibles producidos por segunda generación tomando la parte celulósica como fuente de energía. Aunque la temática de biocombustibles viene mediatizada por los intereses comerciales de las grandes compañías distribuidoras, desde el punto de vista científico el desarrollo de catalizadores o el uso de nanoestructuras bio-inspiradas constituyen un gran reto.

El avance en estos terrenos viene condicionado en el desarrollo de laboratorios y centros con gran capacidad de síntesis y/o obtención de nanomateriales de forma controlada, en donde pueda combinarse las vías inorgánicas con las orgánicas. Ello debe estar combinado con una potencialidad y capacidad tecnológica y de caracterización que permita en paralelo implementar los dispositivos adecuados así como su control.

Todos estos temas constituyen para España, a causa de su situación geográfica, su potencial investigador e industrial y su capacidad científico-tecnológica actual, áreas de gran interés y atención estratégica.

En este sentido, es recomendable llevar a cabo un plan estratégico que si bien inicialmente no limite ni restrinja



las alternativas ni las propuestas científica, tecnológica y metodológicamente viables, las invite a superar hitos temporales evaluables en figuras de eficiencia y valores energéticos obtenibles para la obtención de posterior soporte financiero.

En este marco, tanto los materiales nanoestructurados para energía fotovoltaica como para producción directa de energía química, incluyendo hidrógeno como otros combustibles, son cruciales para el sistema de ciencia y tecnología español así como para la propia sociedad española.

Su desarrollo no encierra de forma claramente identificables riesgos de impacto medio ambiental, de seguridad o de salud más allá de las lógicas precauciones usuales en el campo de las nanotecnologías. Además, los objetivos propuestos son totalmente atractivos para una nueva generación de investigadores especializados en síntesis, catálisis y funcionalización; actividades que engloban un gran valor estratégico con gran valor añadido en multiplicidad de campos y aplicaciones más allá de las de la energía.

## Hidrógeno y Pilas de Combustible

De acuerdo con la visión científica actual, es previsible que en el futuro la mayor fuente de energía estará en los enlaces químicos y que para hacer uso de ella será preciso disponer de eficientes, selectivos y económicos catalizadores. En este contexto, los nanomateriales presentan un gran interés ya que materiales que en volumen no tienen ningún

papel como catalizadores, a escala nanométrica exhiben unas características catalizadoras excepcionales. Por ejemplo, clusters de oro menores de 3 nm son capaces de activar reacciones de oxidación de otras moléculas inactivas en otras condiciones.

En este sentido, es un reto conocer las relaciones entre la estructura de estos nanomateriales y sus características químicas como catalizadores. Es preciso por tanto conocer como trabajan, cuales son los mecanismos implicados y su posible control. La ciencia está enfrentada con este gran reto para la obtención de nuevos catalizadores y la determinación de los procesos catalíticos. Para ello, las herramientas desarrolladas desde la nanotecnología son fundamentales para sobrepasar estos retos.

El potencial de su aplicabilidad es enorme. En realidad son inimaginables los beneficios que se pueden obtener así como los propósitos de donde se pueden aplicar pero, de forma inmediata y obligados por la situación energética, es inmediato plantearse como objetivos:

- La conversión directa de celulosa.
- La obtención de combustibles líquidos.
- La obtención económicamente rentable de hidrógeno como elemento básico y esencial en la economía del hidrógeno, así como de agua potable.
- El logro de pilas de combustibles con alta eficiencia tanto para el automóvil como para aplicaciones residenciales y del sector terciario.

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
6.	Catalizadores	3,86	< 2010

En definitiva las características de los catalizadores están determinadas por la composición, tamaño, morfología, grado de uniformidad de las nanopartículas, características del soporte, dispersión, interfaces entre ellos. Por tanto su desarrollo precisa de los conocimientos de la ciencia de los nanomateriales siendo preciso desarrollar herramientas rápidas para su análisis, evaluación y selección de catalizadores para determinadas aplicaciones.

Desde el punto de vista de la energía, uno de los mayores retos pendientes lo constituye el uso de catalizadores en las pilas de combustibles. De hecho la introducción de esta tecnología esta hoy en día condicionada a la disponibilidad de catalizadores adecuados para su rango de funcionamiento, con unos costes admisibles y en unos rangos de utilización sostenible. Es bien conocido que las existencias actuales de platino no permitirían su amplia utilización como catalizador en pilas de combustible a pesar de sus excelentes características. En consecuencia, la obtención de nuevos catalizadores con prestaciones mejoradas -más rápidas cinéticas, menor capacidad de envenenamiento, vida media, costos bajos, existencias disponibles,...) constituye un hito fundamental para el futuro desarrollo e implementación de alternativas energéticas basadas en pilas de combustibles.

Para ello, se precisa investigación para desarrollar mas complejos materiales catalíticos, por ejemplo, desarrollando la capacidad para la obtención de muy pequeñas partículas de pocos nanómetros controlando el tipo y características de las monocapas atómicas de su recubrimiento. Otro ejemplo sería el desarrollo de catalizadores sintéticos con propiedades próximas a aquellas de las enzimas. Ello revolucionaria todo el potencial actual relacionado con el uso de la biomasa o la producción de biocombustibles de segunda generación.

En definitiva, el desarrollo de conocimiento fundamental sobre los nanomateriales y sus características en ambientes reactivos debe facultar el avance en esta línea si bien para ello será preciso incentivar el desarrollo de nuevas herramientas y métodos de análisis para conocer, analizar y controlar las características relativas a composición, estructura, propiedades superficiales, etc... en especial el uso y disponibilidad de potentes herramientas de calculo serán tan determinantes como la propia capacidad de síntesis, obtención y manipulación de estos catalizadores. Asimismo, los avances en este campo deben ir conectados a la capacidad de tener imágenes en alta resolución en tres dimensiones adaptadas a técnicas espectroscópicas que permitan disponer de información química en alta resolución. Este campo, como muchos otros campos y actividades en nanomateriales, va a tener sus capacidades íntimamente ligados a nuevas herramientas fundamentales para la evolución del sector como son la microscopia electrónica de transmisión con resolución por debajo del ángstrom, sin aberraciones y con capacidad analítica, HRTEM. Además ello deberá ir acompañado con técnicas de sincrotón o de neutrones.

Hoy en día, en España, se empieza a disponer de infraestructura que permite afianzar el uso de estas herramientas (sincrotón, supercomputación...) si bien restan todavía esfuerzos para disponer de laboratorios especializados en microscopia de alta resolución sin aberraciones y con resolución por debajo del ángstrom. Por otra parte, la potencialidad y capacidad de los investigadores en este campo es notoria si bien debería intensificarse la sinergia entre investigadores especializados en catalizadores y en dispositivos como pilas de combustibles.



## Almacenamiento y Transporte de Energía

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
8.	Almacenamiento de H <sub>2</sub>	3,83	2016 - 2020

El consumo de energía está incrementando drásticamente promovido por los nuevos estándares de vida así como por el incremento de la población con acceso a ella. Este aumento en la demanda de energía requiere un gran aumento en la capacidad de producción lo que en las circunstancias actuales, -con grandes condicionantes sobre el uso de recursos fósiles y de emisiones causantes del efecto invernadero-, plantea la búsqueda de alternativas.

Entre estas, el uso de hidrogeno como transportador de energía primaria es una de las opciones factibles, a pesar de sus inherentes dificultades. Entre ellas, cabe destacar la exigencia de producir hidrogeno a partir de energías renovables cuya fuente no siempre está disponible -viento, sol...- y en consecuencia plantea ya en origen la necesidad del almacenamiento del hidrogeno producido. Asimismo, de forma intrínseca al propio concepto de transportador de energía, su uso requiere su almacenaje para su transporte.

Los materiales nanoestructurados ofrecen propiedades muy interesantes para satisfacer los requerimientos de este almacenaje. Por una parte, hay materiales que presentan la posibilidad de mantener el hidrogeno débilmente enlazado de forma que pueda liberarlo fácilmente aunque su capacidad de almacenamiento sea baja, o alternativamente materiales que presentan un fuerte enlace con el hidrogeno de forma que sean precisas altas temperaturas para liberarlo,

aunque sus capacidades de almacenamiento sean mejores. En general se precisan altas presiones para forzar la fijación del hidrogeno y altas temperaturas para liberarlo. Sin embargo, el uso de materiales como hidruros metálicos o MOF o nanoestructuras de carbón, han mostrado que son factibles rangos intermedios. En definitiva, entender y controlar en la nano escala, estos procesos de captura y liberación del hidrogeno es fundamental para el futuro de la economía del hidrogeno.

Hoy en día hay varias líneas abiertas. Por una parte la utilización de hidruros metálicos. Por otra, las nuevas líneas basadas en el uso de MOF (Metal Organic Frameworks) que han aparecido recientemente debido a sus propiedades de absorción y sus prestaciones como membranas de separación. En cierto sentido pueden considerarse como análogos a las zeolitas pero manteniendo toda la potencialidad de la química del carbono. Finalmente están las líneas más tradicionales basadas en la utilización de otros compuestos derivados del carbón. Sin embargo, las alternativas más recientes están centradas en el desarrollo de catalizadores que ahorren la necesidad de tener que almacenar el hidrogeno como tal. En este sentido, se pretende que mediante el uso de catalizadores apropiados, se puedan utilizar combustible líquidos y que mediante un proceso de catálisis se pueda liberar el hidrogeno en las condiciones de consumo requeridas.

Muy probablemente, el protagonismo de centros españoles en este campo este retardado en relación a los laboratorios líderes. Sin embargo, la capacidad en síntesis, diseño, modelización, computación de estructuras, caracterización y desarrollo de nuevos nanomateriales harían prever que adecuadamente incentivado, los centros españoles pudieran tomar un mayor protagonismo.

Quizás una de las mayores limitaciones es que hoy por hoy no hay una industria del hidrogeno presente en España. Sin embargo, la evolución energética hace previsible su necesidad así como la presencia en este tema.

Aparte del almacenamiento, el transporte plantea otro de los puntos cruciales del sector energético. Tanto en un modelo de energía basado en grandes centros de producción localizados en lugares adecuados a los recursos renovables como en un modelo distribuido, el futuro energético va a demandar sistemas de transmisión de energía de gran capacidad e interconectado al menos a nivel continental. Los actuales cables basados en aluminio y cobre presentan importante limitaciones entre las que sobresale las pérdidas de energía. En este contexto, la posibilidad de incorporar nuevos cables basados en materiales superconductores nanoestructurados tanto en las redes eléctricas como en los bobinados de motores, o cables o fibras desarrolladas en base a nanotubos o nanohilos de muy alta conductividad, -la conductividad eléctrica de los CNT, carbon nanotube, es seis ordenes de magnitud mayor que la del cobre- plantea interesantes alternativas para futuras respuestas de la ciencia a este reto.

De hecho la comprensión de los mecanismos de transporte de cargas eléctricas en nanoestructuras así como el transporte de energía en interfaces a la escala nanométrica son todavía cuestiones sin muchas respuestas pero que son fundamentales para poder extender sus usos potenciales a la escala métrica o kilométrica de sistemas basados en fibras constituidas por la interconexión de muchas nanotubos o nanohilos o alternativamente en superconductores.

Así, aprender sobre el transporte de energía y de carga eléctrica a través de interfaces en el rango nanométrico es crucial para los futuros avances en el uso de nanoestructuras en el campo de captar, producir o transmitir energía o cargas. Desde el punto de vista experimental, para progresar en este campo, es preciso disponer de facilidades de nanofabricación. En paralelo, la interacción entre experimentos y cálculos teóricos son precisos para fundamentar los avances y afrontar transferencias de conocimiento al sector tecnológico.

En España, hay grupos y actividades destacables a nivel internacional en esta área de actividad.

## Medio Ambiente

Los puntos más críticos en un nanosistema están en sus interfaces entre materiales distintos que están formando parte en el dispositivo o componente del nanosistema. Una primera consecuencia de ello está en que el estado del nanosistema es sensible al estado de dicha superficie. Por

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
16.	Descontaminación, remediación	4,00	< 2010
17.	Sensores, biosensores	3,92	< 2010



tanto, la resolución espacial y temporal de las variables químicas, físicas o funcionales, es un desafío para entender los mecanismos y procesos de transducción a nivel nanométrico. Dada la mayor facilidad en acceder a magnitudes eléctricas, usualmente la transducción de las variables físicas, químicas o biológicas se lleva a cabo a eléctricas lo que constituye un dispositivo sensor.

El conocimiento y comprensión de los mecanismos de transducción de energía mecánica, térmica, magnética u óptica a energía eléctrica a nivel nanométrico permite una mayor eficiencia y control de las características del dispositivo. Ello se traduce en una mayor fiabilidad. No obstante, es en la transducción de energía química a eléctrica donde estas ventajas adquieren una importancia mayor. La interacción de moléculas, gas o líquido, con las interfaces del nanomaterial plantean problemas similares a los encontrados en los fenómenos de catálisis pero aquí, además, es necesario tener en cuenta como actúa el material soporte y como se lleva a cabo la transferencia de carga eléctrica a través de la interficie. Diversos tipos de nanosensores están siendo desarrollados según el tipo de magnitud eléctrica que se utiliza: voltaje, frecuencia, intensidad, resistencia... tanto para detectar las magnitudes físicas como químicas, siendo en este último caso donde la aportación de las características nanométricas y su control permite acometer objetivos más ambiciosos.

Para lograrlos, no es únicamente necesaria la síntesis controlada de material nanoestructurado sino que es fundamental el control de su estructura y de las características de su superficie. Por este motivo, es preciso disponer de técnicas de caracterización, especialmente de la superficie a nivel nanométrico, así como de potentes técnicas de simulación para poder validar las aproximaciones teóricas y la validación de los diferentes modelos.

En este contexto, la funcionalización de la superficie de las nanoestructuras permite disponer de una gran superficie activa con nuevas vías de interacción con el medio que están directamente ancladas en las nanoestructuras. Ello posibilita anclar compuestos con radicales terminales adecuados a la detección y mediante mecanismos de transferencia de carga a través del compuesto funcionalizador hasta la nanoestructura de soporte, transducir eléctricamente los cambios que tienen lugar en el radical a la nanoestructura o alternatively cambiando las propiedades ópticas de absorción, transmisión o de ATR (attenuated totally reflectance) a través de guías o cavidades ópticas integradas. Ambos procesos de transducción dan lugar a diferentes tipos de sensores químicos y bioquímicos.

Además, las mejores prestaciones y la mayor capacidad de las herramientas tecnológicas permiten diseñar dispositivos nanométricos basados en los anteriores mecanismos de transducción en nanoestructuras funcionalizadas. Nanoelectrodos, nanotransistores o en definitiva la disponibilidad de litografía a escala nanométrica y la nanomanipulación de nanoestructuras están dando lugar a nuevos sensores y sistemas integrados que combinados con otras posibilidades tecnológicas como fluidica, fotónica, magnetismo... han abierto las puertas a sistemas más complejos como lab-on-chip, sistemas cromatográficos y espectrométricos integrados y portátiles, etc., con un amplísimo campo de aplicaciones pero que inciden, particularmente, en el área de energía al ser herramientas para el control medioambiental tanto in-situ –control de emisiones en la producción de energía–, como ex situ –control ambiental–.

Por otra parte, las posibilidades de estas nanoestructuras funcionalizadas pueden también extenderse no a la detección de moléculas, sino a buscar su reacción de manera que los subproductos de la misma sean más simples. De esta

forma, moléculas peligrosas pueden ser descompuestas eliminando así su peligrosidad. Para asegurar o facilitar esta reacción, a parte de la funcionalización de la nanoestructura es conveniente la presencia de catalizadores y/o de foto-activación. Así mismo, la ingeniería de materiales permite la modificación composicional catiónica o aniónica de manera que sea posible ajustar la estructura de bandas –acoplamiento a la excitación óptica- las características cristalográficas –tamaño, forma y áreas activas de los nanos materiales y nanoestructuras-, propiedades superficiales –compatibilidad con la funcionalización– y resistencia a la corrosión de líquidos. Todo ello está contribuyendo al desarrollo de nuevos elementos descontaminadores, especialmente para aguas residuales.

Esta área de actividad conlleva un alto valor añadido y de impacto social. A diferencia de otras en el campo de las nanotecnologías, ésta es esencialmente interdisciplinaria y precisa combinar las potencialidades de materiales, física de dispositivos electrónicos y fotónicos, química y bioquímica. Además precisa también de toda la potencialidad de síntesis y procesado (funcionalización) de nanoestructuras junto con la capacidad de nanomanipulación y litografías aptas en para la fabricación de nanodispositivos.

## Conclusión

- El control de la transferencia de energía y cargas eléctrica a través de las superficies de las nanoestructuras es uno de los grandes retos en nano ciencia y nano tecnologías con una incidencia total en el sector de la energía.
- Para ello, es preciso del profundo conocimiento y control de las características de éstas, de manera que las superficies puedan ser definidas y modeladas de acuerdo con los objetivos buscados mediante la presencia de catalizadores y/o su funcionalización.
- Además de un alto nivel en la capacidad de síntesis o obtención de nanoestructuras así como de su manipulación, para abordar con mínimas garantías los retos, es preciso desarrollar una amplia capacidad de técnicas y métodos de análisis de nanoestructuras y, muy especialmente de sus superficies. Microscopías de alta resolución con resolución por debajo de 0,1 nm, sin aberraciones y con capacidad analítica serán fundamentales.
- Por otra parte, dado el carácter discreto de muchas de las variables físicas a causa del pequeño número de átomos constituyentes de clusters, nanopartículas o nanoestructuras; es preciso disponer de potentes capacidades de cálculo para la resolución de las ecuaciones asociadas a los nanosistemas para su modelización y simulación.
- Nanomanipulación y herramientas litográficas son necesarias para dar soluciones al cuello de botella que hoy en día constriñe la capacidad de realizar dispositivos electrónicos -como sensores, nanotransistores o simples nanoresistencias- o su implementación en sistemas más complejos combinando fluidica, fotónica, magnetismo, etc., con un alto valor añadido y con fuerte impacto social.
- Las aportaciones desde las nanociencias y nanotecnologías al sector energético probablemente sea uno de los retos más exigentes y trascendentales para la sociedad constituyendo junto con los temas de salud, los retos más importantes para la sociedad humana en el siglo XXI:
  - Materiales para el almacenamiento y transporte de la energía.
  - Materiales para la producción de la energía a partir del sol.
  - Materiales para la obtención de combustibles alternativos a los fósiles y/o economía del hidrógeno. Control medioambiental del impacto energético.



- Todos estos puntos son de gran impacto en España. Así mismo, la potencialidad y capacidad de su comunidad científica y tecnológica son prometedoras para tener una presencia relevante en el liderazgo de estas actividades así como en la realización de patentes.

- Los resultados esperables en esta área de actividades de aplicación en el campo energético son de alto valor añadido con fuerte impacto industrial y social. Ello requiere esfuerzos suplementarios para reunir la interdisciplinariedad científica y tecnológica así como la participación industrial, social y política (normativas y regulación) requerida para abordar estos retos.



# Aplicaciones de las Nanotecnologías en las TIC y la Electrónica

José Millán<sup>1</sup>

En la actualidad, nos estamos acostumbrando a tener fácil acceso al trabajo y a servicios de información en general. El hecho de que la información esté disponible en cualquier lugar y en cualquier tiempo depende de las comunicaciones así como de la posibilidad de conectarse a ellas. Hoy en día, la conexión es generalmente inalámbrica (teléfono móvil, redes Wi-Fi, etc.). En un futuro, estos sistemas de comunicación serán incluso de más fácil uso, hasta el punto de ser transparentes al usuario. La información fluirá a su destino mediante cualquiera de los canales de comunicación disponibles. Asimismo, el ancho de banda de estos sistemas se ampliará considerablemente de acuerdo con la cantidad de datos a transmitir (voz, fotografías, video, ficheros, etc.), que deberá ser mucho más segura frente a *hackers* o cualquier tipo de intrusismo.

---

<sup>1</sup> Vicedirector, Instituto de Microelectrónica de Barcelona – Centro Nacional de Microelectrónica (IMB-CNM. CSIC)



En este sentido, se necesitará de la Nanoelectrónica no solamente para lograr la miniaturización de los dispositivos de comunicación, sino para lograr una mayor funcionalidad en términos del número canales de comunicación. Los dispositivos multibanda y multimodo que de ella surgirán serán la clave para discernir la comunicación requerida entre la cuantiosa comunicación que por ellos pueda fluir, anunciando una nueva era de comunicaciones sin precedente. A su vez, los canales de comunicación inalámbricos funcionarán a frecuencias más altas con objeto de incrementar la velocidad de transmisión de datos. Por consiguiente, se requerirá incrementar la integración de MEMS de radiofrecuencia y de arquitecturas RF que permitan compartir la circuitería entre diferentes canales de RF y esquemas de modulación.

Por otro lado, la mayor funcionalidad de los sistemas portátiles de comunicación requerirá el mínimo consumo, requerimiento que devendrá aún más crítico. Además, la necesidad de mantener activados a estos dispositivos durante largos periodos de tiempo entre recargas de las baterías o incluso autónomos en términos de fuentes de alimentación, se necesitaran dispositivos de recolección de energía (*energy scavenging*) que adquieran y almacenen la energía del medioambiente local. A su vez, accesibilidad, fiabilidad y compatibilidad medioambiental (desechable, reciclable y reuso) serán otros requisitos de importancia.

El cuestionario sobre “*Aplicaciones de las Nanotecnologías en las TIC y la Electrónica*” aborda los principales temas de investigación en nanotecnologías en relación con este ámbito del conocimiento. El cuestionario plantea 23 temas de futuro en las siguientes áreas de aplicación:

- Electrónica post-CMOS.
- Dispositivos (transistores y memorias).
- Suministro de energía.
- Integración mediante sistemas multibanda y multinodo.
- Conectividad (con sistemas no-electrónicos) mediante sensores y actuadores.
- Interfaces audiovisuales, táctiles..., protección de datos.

## Temas Más Relevantes del Cuestionario

Tal como se comentaba en el capítulo anterior, el criterio de relevancia seguido en el estudio es el Índice Grado de Importancia (IGI). La **Figura 19** muestra la clasificación de los temas más relevantes del cuestionario según dicho índice, excluyendo a la derecha aquellos temas en los que el bajo número de respuestas no autoriza su consideración en el presente estudio al margen de las valoraciones que hayan podido recibir.

Los temas con mayor puntuación representan para los expertos las principales inquietudes de futuro en relación con las Nanotecnologías.

FIGURA 19. CLASIFICACIÓN DE LOS TEMAS SEGÚN EL ÍNDICE DE GRADO DE IMPORTANCIA (IGI)

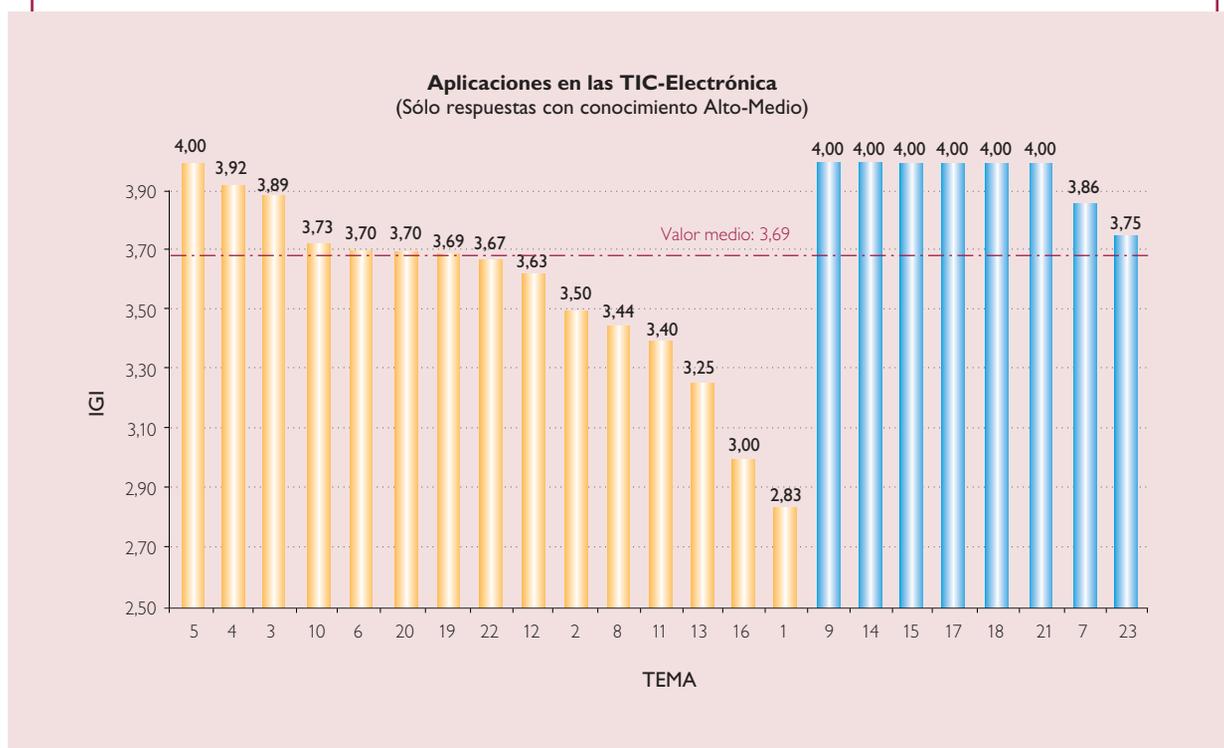
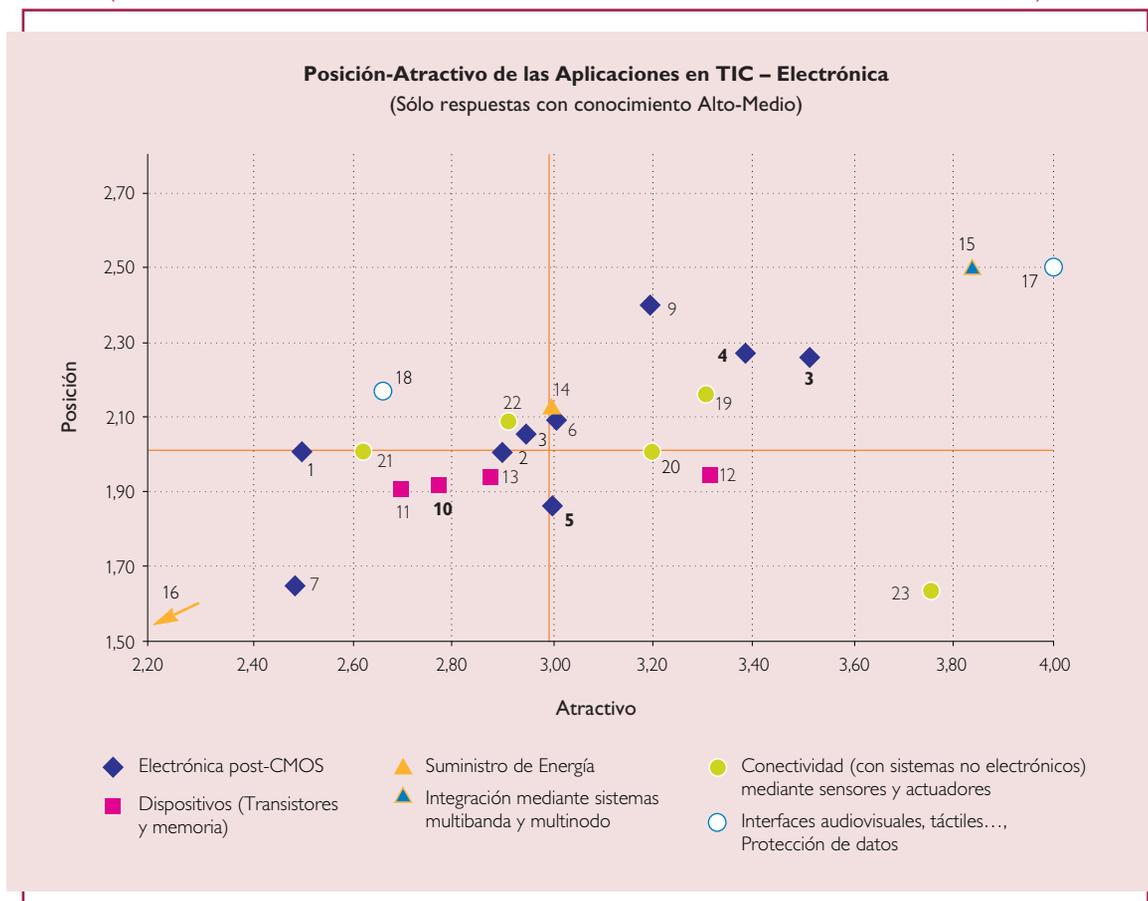




FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DE LOS TEMAS EN FUNCIÓN DE SUS ÍNDICES MEDIOS DE POSICIÓN Y ATRACTIVO PARA ESPAÑA (LA NUMERACIÓN EN NEGRITA CORRESPONDE A LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO)



La representación gráfica de los valores medios de los Índices de Posición y de Atractivo para España obtenidos en cada uno de los temas, completa la información precedente. La **Figura 20** representa la distribución de los temas del cuestionario de nanotecnologías, destacando en negrita la ubicación de los temas más relevantes del mismo.

Tal como se aprecia en dicha figura, el plano resultante se divide en cuatro cuadrantes mediante el trazado de dos líneas perpendiculares al valor medio de cada variable. El cuadrante superior derecho representa los temas que teniendo un valor alto de posición de España poseen un gran atractivo y, por lo tanto, suponen ámbitos consolidados de

especialización que generan grandes expectativas. Los temas que se encuentran en este cuadrante y, además, son importantes constituyen fortalezas a reforzar o mantener.

El cuadrante inferior derecho representa los temas de gran atractivo pero con un índice de posición de España inferior a la media, reflejando una clara debilidad relativa a pesar del interés que suscitan los temas que se ubican en el mismo. Los temas que quedan en este cuadrante y son importantes suponen apuestas estratégicas sobre las que se deberá decidir en torno a la oportunidad de su reforzamiento u abandono.

TABLA 7. GRADO DE DESARROLLO PREVISTO EN LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO SOBRE APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN LAS TIC Y LA ELECTRÓNICA

TEMA	Grado de Desarrollo														
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	>2020
<b>ELECTRÓNICA POST-CMOS</b>															
3. Optoelectrónica			PD											CM	
4. Fotónica			TE			PD					DI				CM
5. (nano)materiales para SoC System on Chip y SIP System in Package (diseño y producto)			DI											CM	
<b>DISPOSITIVOS (TRANSISTORES Y MEMORIA)</b>															
10. Transistores: transistor fotónico de silicio, transistor de nanohilo metálico, moleculares														PD	

■ Tecnología Emergente

■ Prototipo o Demostrador

■ Desarrollo Industrial

■ Comercialización en los Mercados

Partiendo de los resultados generales del estudio y de estas informaciones, el análisis y valoración realizados por el Panel de Expertos concluyó considerando como “temas relevantes” los 4 primeros temas de mayor índice IGI. La **Tabla 7** lista este conjunto de temas relevantes, mostrando el grado de desarrollo que, en opinión de los expertos, irán alcanzado desde la actualidad hasta el año 2020 y posteriores.



En los párrafos siguientes se describen con mayor detalle todos estos temas relevantes, agrupándolos por áreas a fin de situarlos en su contexto y proporcionando una visión global de los mismos, sus retos, líneas de investigación, etc.

## Electrónica Post-CMOS

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
3.	Optoelectrónica	3,89	2011 (de PD a CM directamente)
4.	Fotónica...	3,92	2014 - 2020
5.	(nano)Materiales para SoC System on Chip y SIP System in Package (diseño y producto)	4,00	2007 - 2010

El dominio *Beyond CMOS* hace referencia a todos aquellos nuevos materiales, estructuras, dispositivos y arquitecturas que se desarrollarán a largo plazo (posterior al nodo de CMOS 32nm). Se prevé estarán en fase de producción hacia el 2020, y su principal función es la de complementar la tecnología CMOS en su objetivo de fabricar circuitos con una mayor capacidad de conmutación y de almacenamiento de información, cuando la tecnología CMOS no sea capaz de conseguir dichos objetivos por sí misma. Más allá del nodo CMOS 32 nm, se desarrollarán nanoestructuras y arquitecturas novedosas para complementar al CMOS en implementaciones lógicas avanzadas. Ejemplos de estas innovaciones pueden ser el desarrollo de nuevos transistores y NEMS basados en nanotubos de carbono o la implementación de *spintronica*, que utiliza el spin de un electrón junto con su carga para la transmisión de la información. Además, la aproximación convencional (*top-down*) en la fabricación de dispositivos semiconductores, basada en añadir y eliminar selectivamente capas conductoras, semiconductoras y aislantes en una oblea de Silicio, se comenzará a combinar

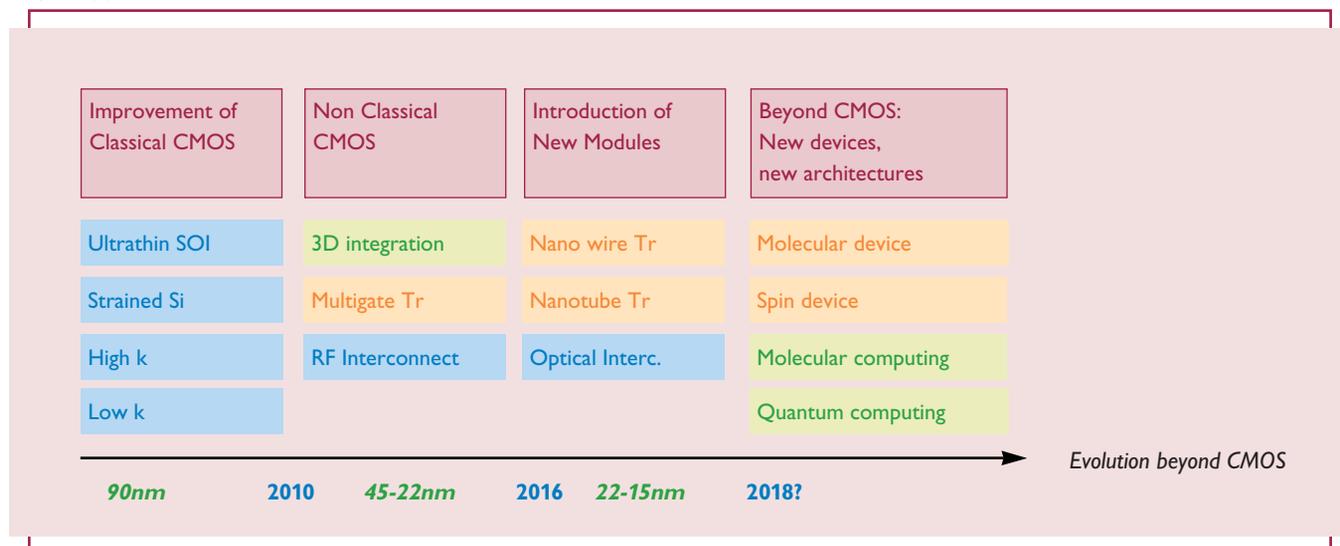
con técnicas que autoensamblen estas capas de forma análoga a la manera como la Naturaleza construye los sistemas biológicos.

El límite de la tecnología CMOS se está alcanzando por varios motivos, aún sin entrar en límites físicos, como son:

- Un aumento en la potencia consumida coincide con un aumento insuficiente en la velocidad de operación del circuito (baja movilidad en el canal y un aumento de las corrientes de fugas).
- Aumento de los defectos, tanto en litografía como a nivel de diseño.
- Existen numerosas opciones que potencialmente podrían desarrollar las estructuras y arquitecturas anteriormente mencionadas, pero todas ellas se encuentran en una fase embrionaria desde un punto de vista industrial. El reto consistirá en el desarrollo de una metodología que lleve a buen puerto la opción elegida con la suficiente madurez industrial y a tiempo.

La evolución prevista para el *Beyond CMOS* según la Agenda Estratégica de Investigación de la Plataforma Tecnológica ENIAC se esquematiza en el **Gráfico 1**:

GRÁFICO 1.



### La Automatización del Diseño

El tema central en el control de la complejidad y manufacturabilidad de sistemas nanoelectrónicos radica en aumento de la confianza en la Automatización del Diseño Electrónico (*Electronic Design Automation*, EDA). EDA es el nexo de unión esencial entre los requisitos de la aplicación derivados de las necesidades de la sociedad y su implementación en un SoC (*System on Chip*) o en un SiP (*System in Package*). Este nexo debe ser formal, en el sentido de que debe capturar las necesidades y dar lugar a una implementación tangible, así como ser capaz de compaginar la complejidad requerida, teniendo en cuenta conceptos heterogéneos como descripción de procesos abstractos, verificación, implementación física, manufacturabilidad, etc.

Los sistemas EDA deben capturar especificaciones formales de diseño o permitir sistemas de alto nivel y arquitecturas en el marco de las tecnologías disponibles para implementarlos. Todos los aspectos que contribuyan al desarrollo del producto final deben ser considerados. Entre ellos cabe destacar los siguientes: digital, señal analógicas/mixtas, electrónica de potencia y *embedded software* junto con componentes no eléctricas como MEMS. Se trata de una disciplina multidisciplinar que ha de dar lugar a herramientas EDA que impliquen diseño (definición de especificaciones, co-diseño HW/SW, diseño de circuitos, verificación y validación e implementación física).

Por otra parte, la relevancia de las tareas de desarrollo de



software y de exploración de arquitecturas en el diseño de SiPs y SoCs complejos se incrementa desmesuradamente con la complejidad de las nuevas generaciones de tecnologías avanzadas. Quizás, la mayor contribución a este crecimiento reside en el Diseño para la Manufacturabilidad, un tópico nuevo que incluye la posibilidad de incorporar físicamente Nanoelectrónica en el proceso de diseño. Esto último es nuevo en el mundo del diseño.

En consecuencia, el progresivo aumento de tareas que se han de incorporar al diseño de un futuro SiP o SoC junto con sus respectivas complejidades dan lugar a un fenómeno que se conoce como *design gap*; es decir, la diferencia entre lo que teóricamente se puede integrar en un sistema y lo que en la práctica se puede diseñar.

En opinión de los expertos consultados, los temas más importantes para la aplicación de las nanotecnologías en el área de la electrónica post-CMOS (temas 3, 4 y 5) están relacionados con la optoelectrónica, la fotónica y los sistemas SoC y SiP comentados previamente. El grado de desarrollo de las aplicaciones en optoelectrónica (tema 3) y en sistemas SoC y SiP (tema 6) se encuentra relativamente avanzado y alcanzará la fase de comercialización en los mercados antes de 2015, mientras que, para estas fechas, las aplicaciones en fotónica (tema 4) estarán en fase de desarrollo industrial y no se comercializarán hasta después del 2020.

Así mismo, a tenor de los resultados obtenidos España se mantendrá en una clara situación de dependencia tecnológica del exterior durante de los próximos lustros, a pesar del indis-

cutible atractivo científico-tecnológico y de mercado que estos temas poseen, y de disponer de una buena posición en cuanto a capacidad científica para el desarrollo de los mismos.

Los expertos señalan como factores críticos u obstáculos a superar para el desarrollo de las aplicaciones en optoelectrónica (tema 3) y fotónica (tema 4), la necesidad de equipamientos e infraestructuras y el desarrollo de nuevos conocimientos científico-tecnológicos y, en menor medida, la puesta en marcha de mecanismos de difusión y transferencia tecnológica. Sin embargo, para el desarrollo de sistemas SoC y SiC (Tema 6) esta situación se invierte y los expertos detectan una mayor necesidad de mecanismos de difusión y transferencia tecnológica que de equipamiento-infraestructura y que de desarrollos de conocimiento.

## Dispositivos (Transistores y Memorias)

Más allá de la Ley de Moore, el dominio *More Moore* hace referencia a todas las actividades de investigación y desarrollo necesarias para que la industria micro-nano-electrónica sea capaz de conseguir los hitos establecidos en el ITRS (*International Technology Roadmap for Semiconductors*). Se trata de desarrollar la tecnología que permita fabricar circuitos con una mayor capacidad de computación y de almacenamiento de la información (procesadores y memorias). Las actividades de investigación en este dominio tienen un carácter marcadamente aplicado a corto y medio plazo, con especial énfasis en las memorias DRAM y no volátiles, así como en las llamadas tecnologías transversales.

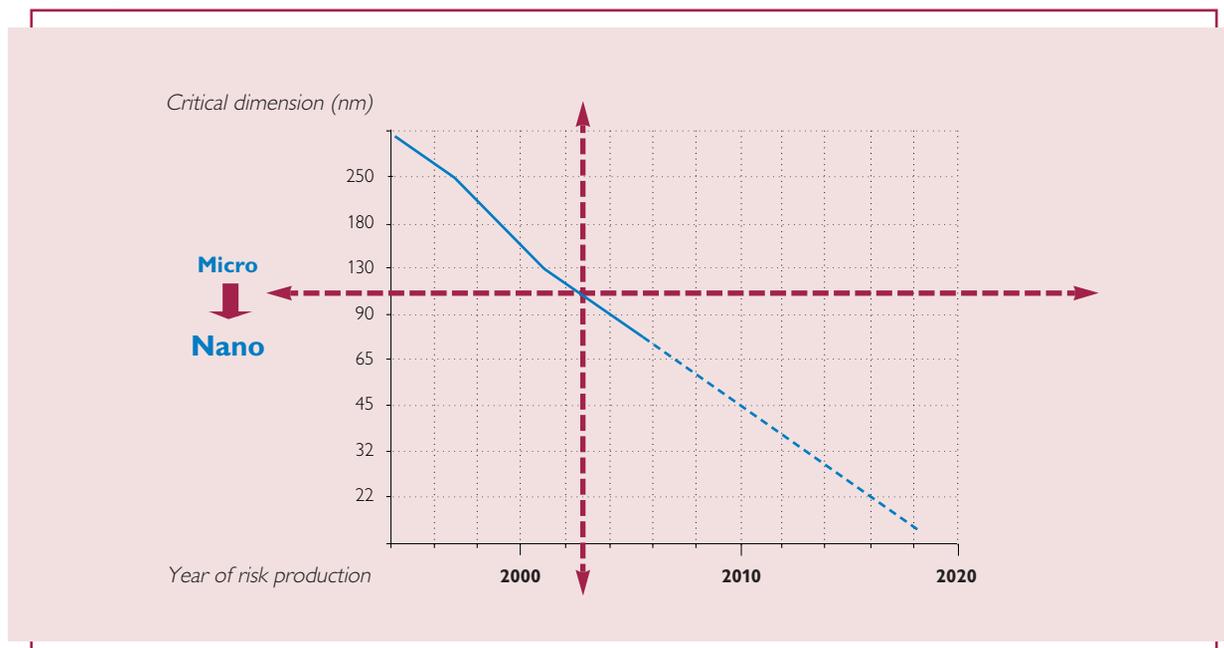
Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
10.	Transistores: transistor fotónico de silicio, transistor de nanohilo metálico, moleculares	3,73	(>2020)

Respecto a las memorias DRAM, se consideran prioritarios los desarrollos de nuevos materiales para el condensador de almacenamiento y de nuevas estructuras de memoria para dimensiones por debajo de los 30 nm. Para ello, se contempla la introducción de obleas de 450 mm. de diámetro. En lo que concierne a las memorias volátiles, la innovación vendrá a través de estructuras 3D para las celdas y de los nuevos materiales (*high-k* para el dieléctrico *interpoly* y trampas discretas para almacenamiento de carga *low-k dielectrics*). Asimismo, se explorará presumiblemente el concepto de memorias unificadas (NVRAM) con objeto de evaluar su competitividad con la memorias no volátiles *flash* escaladas en términos del tamaño de celda, fiabilidad, compatibilidad con tecnologías CMOS, escalabilidad, etc., entre otros.

En lo referente a tecnologías transversales, el término bajo consumo (*low-power*) se remarca con insistencia. En este ámbito, es clave el aumento de la sinergia entre aplicaciones, diseño, dispositivos y desarrollo de procesos. No se esperan que los posible *breakthroughs* provengan exclusivamente del desarrollo aislado de la tecnología nanoelectrónica. En este sentido, nuestro país cuenta con una comunidad sólida dedicada a diseño de circuitos microelectrónicos, con gran componente PIME, que podría utilizar esta nanotecnología en sus nuevos productos.

La predominancia del CMOS es consecuencia del éxito de la industria semiconductora al reducir el tamaño de los transistores. El ITRS predice que el CMOS 32 nm estará en producción en el año 2015 (ver **Figura 21**).

FIGURA 21.

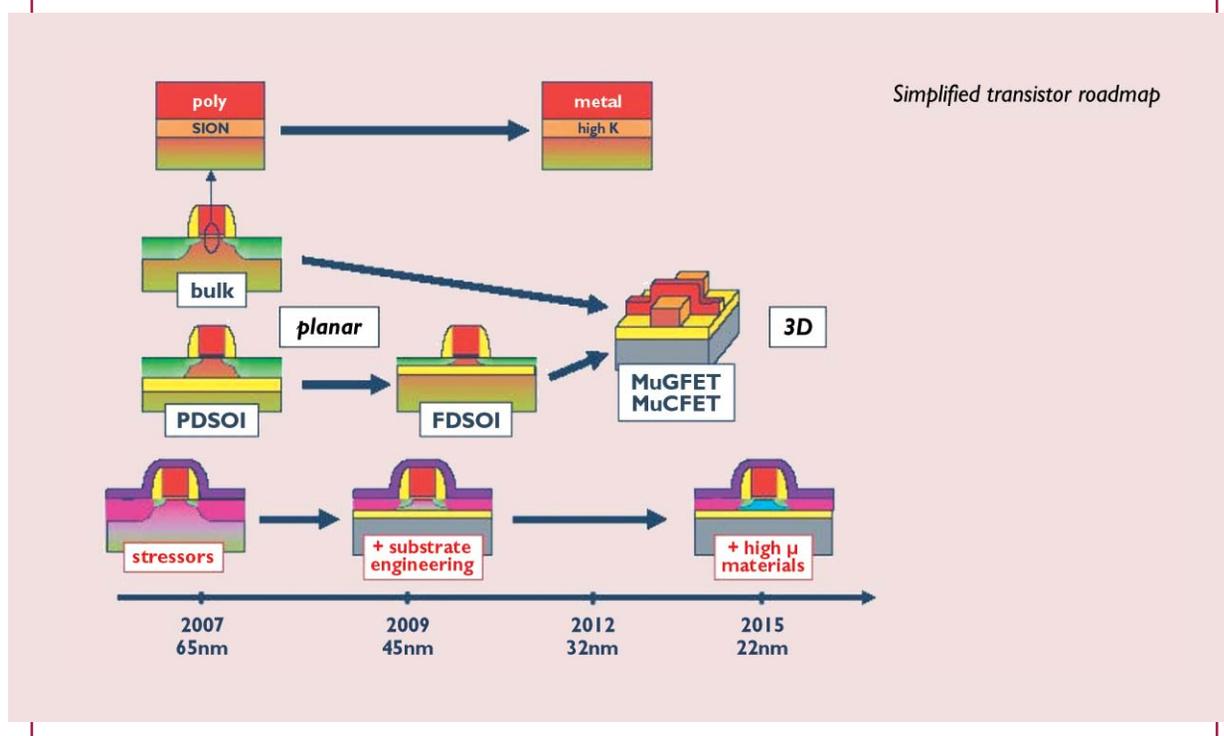




Sin embargo, la infraestructura industrial necesaria para fabricar chips submicrónicos es extremadamente cara. En Europa las infraestructuras de fabricación y las actividades de I+D sólo han sido posibles mediante alianzas industriales y *joint ventures* entre los principales fabricantes de semiconductores. Para continuar estando al día, se requerirá que la industria semiconductora continúe invirtiendo en infraestructuras de forma que se pueda producir *More Moore* en línea con las previsiones del ITRS.

Algunos de los principales retos incluyen investigación y desarrollo de nuevos materiales para substratos semiconductores y dispositivos, el uso de litografía óptica no convencional y de litografía sin máscara, así como la integración de Nanoelectrónica y otros dispositivos innovadores en substratos semiconductores. En la **Figura 22** se muestra el *roadmap* del transistor.

FIGURA 22.



Para los expertos consultados, las aplicaciones de las nanotecnologías en los transistores (tema 10) resulta ser el tema más importante de esta área. En él se hace referencia a un conjunto de (nano)tecnologías claramente emergentes que, previsiblemente, no alcanzarán un nivel de desarrollo industrial hasta después del 2020. Se trata, pues, de un ámbito emergente en el que, si bien en la actualidad no existe un marcado dominio por parte de país alguno, tampoco se espera que podamos librarnos de la dependencia exterior hasta después del horizonte de este estudio.

A pesar de la importancia concedida por los expertos a este tema, ni su posición ni atractivo destacan especialmente al compararnos con los países de nuestro entorno. La posición de España resultaría equivalente o ligeramente superior a la de otros países en cuanto a capacidad científico-tecnológica pero sería muy inferior a la de éstos en cuanto a aplicabilidad industrial. En cuanto al interés y atractivo de este tema, tampoco resultan destacables las expectativas que pudiera generar si bien éstas se encuentran en la media o ligeramente por encima de la misma.

El principal factor crítico para la materialización de aplicaciones en este ámbito es el desarrollo de nuevo conocimiento en ciencia y tecnología, de acuerdo con el carácter claramente emergente del tema. En segundo lugar se destaca la necesidad de equipamiento e infraestructura adecuados a los desafíos planteados.

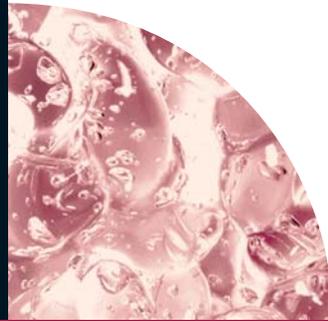
## Conclusión

Por último, es conveniente resaltar una serie de comentarios generales y conclusiones que se desprenden del documento de SRA de ENIAC:

- Se indica que los esfuerzos de la comunidad académica son insuficientes y dispersos en el ámbito de la investiga-

ción a medio y corto plazo que necesita la industria europea en el dominio *More Moore*. Por el contrario, la mayoría de las instituciones académicas focalizan sus esfuerzos en el ámbito *Beyond CMOS* que es una investigación similar a la *More Moore* pero orientada al largo plazo. En este sentido, creemos que es previsible que ENIAC favorezca la asignación de financiación a incrementar la investigación en este dominio, generando así oportunidades en esta línea.

- Se señala que Europa debería:
  - Mantener su liderazgo en litografía.
  - Reforzar la investigación en materiales orientados a la Nanoelectrónica.
  - Favorecer la sinergia tecnología-diseño-aplicación. Es este sentido, nuestro país cuenta con un conjunto apreciable de medianas y pequeñas empresas enfocadas al diseño de circuitos microelectrónicos. Estas empresas podrían utilizar esta nanotecnología en sus nuevos productos.
  - Mantener la excelencia en campos concretos como los modelos compactos, TCAD, etc.
- La investigación en el ámbito *More Moore* viene liderada por la industria nanoelectrónica. La investigación y desarrollo utilizando obleas de 300 mm de diámetro se encuentra más allá de los límites razonables de financiación de países y organizaciones individuales. Por ello, se propone la concentración de infraestructuras en pocas localizaciones (en los llamados *European Competence Clusters*, principalmente situados en Grenoble, Leuven y Dresden). Por otra parte, se propone el estímulo (y orientación) a la creación de redes académicas de excelencia para organizar el acceso a dichas infraestructuras.
- Además, se señala la necesidad de estimular infraestructuras de menor tamaño, más flexibles y de menor coste que aporten valor añadido a partir de investigación exploratoria.



# Aplicaciones de las Nanotecnologías en la Salud y la Biotecnología

Josep Samitier<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Prof. Catedràtic d'Electrònica, Dept. Electrònica, Universitat de Barcelona  
Lab. Nanobioingenieria. Instituto de Bioingenieria de Catalunya (IBEC). Director adjunto CIBER-BBN

Los 18 temas de futuro planteados en el cuestionario sobre *"Aplicaciones de las Nanotecnologías en la Salud y la Biotecnología"* para abordar los principales tópicos de investigación y desarrollo en esta disciplina, se agruparon en las siguientes áreas de aplicación:

- Seguridad Alimentaria.
- Cosmética.
- Diagnòsis.
- Tratamiento.
- Genòmica, Proteòmica.

La nanotecnología es la ciencia que crea y utiliza materiales, dispositivos y sistemas a través del control de la materia a

escala nanométrica, es decir, al nivel de átomos, moléculas y estructuras supramoleculares.

Dada la escala nanométrica inherente a las interacciones a nivel celular, es inevitable que la nanotecnología también se aplique a la biotecnología. Así, las nanotecnologías básicas provenientes de la física y la química se integran con la biología molecular para desarrollar un nuevo campo de investigación e innovación denominado nanobiotecnología.

La nanobiotecnología está empezando ya a mostrar su prometedor impacto en las ciencias de la salud, un término amplio que incluye el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades, así como el de desarrollo de fármacos y su administración al cuerpo humano.

La nanobiotecnología aplicada a la medicina, se fundamenta en una mejor comprensión de los procesos biológicos mediante la utilización de las herramientas “nano”, para desarrollar nuevos sistemas de diagnóstico (diagnóstico molecular) o terapias (nanofármacos o medicina regenerativa). Estas aplicaciones son las que se conocen actualmente como Nanomedicina, que según documentos elaborados por la platafor-

ma española de nanomedicina, miembro de la plataforma tecnológica europea, se puede identificar como aquellas prácticas médicas, incluyendo prevención, diagnóstico y terapia, que requieren tecnologías basadas en interacciones entre el cuerpo humano y materiales, estructuras o dispositivos cuyas propiedades se definen a escala nanométrica.

En paralelo, los desarrollos obtenidos por la nanobiotecnología permiten desarrollar aplicaciones en otros ámbitos como la seguridad alimentaria o cosmética. El uso de las nuevas tecnologías resulta también esencial en la industria alimentaria y puede ser una de las claves en los productos innovadores. Las nanotecnologías proveen las herramientas para implantar en la producción de alimentos sensores que verifiquen el óptimo estado del alimento, así como que prueben su gusto y aroma.

También las nanobiotecnologías pueden ayudar en la preparación de determinadas biomoléculas para favorecer su absorción por el cuerpo humano (por ejemplo mejorar la absorción de los licopenos, sustancias que dan a los tomates su color rojo y que poseen un rol crucial en el cáncer de próstata).



## Temas Más Relevantes del Cuestionario de Aplicaciones de las Nanotecnologías en la Salud y la Biotecnología

Tal como se comentaba en el capítulo 2, el criterio de relevancia seguido en el estudio es el Índice Grado de Importancia (IGI). La **Figura 23** muestra la clasificación de los temas más relevantes del cuestionario según dicho índice,

excluyendo a la derecha aquellos temas en los que el bajo número de respuestas no autoriza su consideración en el presente estudio al margen de las valoraciones que hayan podido recibir.

Los temas con mayor puntuación representan para los expertos las principales inquietudes de futuro en relación con las nanotecnologías.

FIGURA 23. CLASIFICACIÓN DE LOS TEMAS SEGÚN EL ÍNDICE DE GRADO DE IMPORTANCIA (IGI)

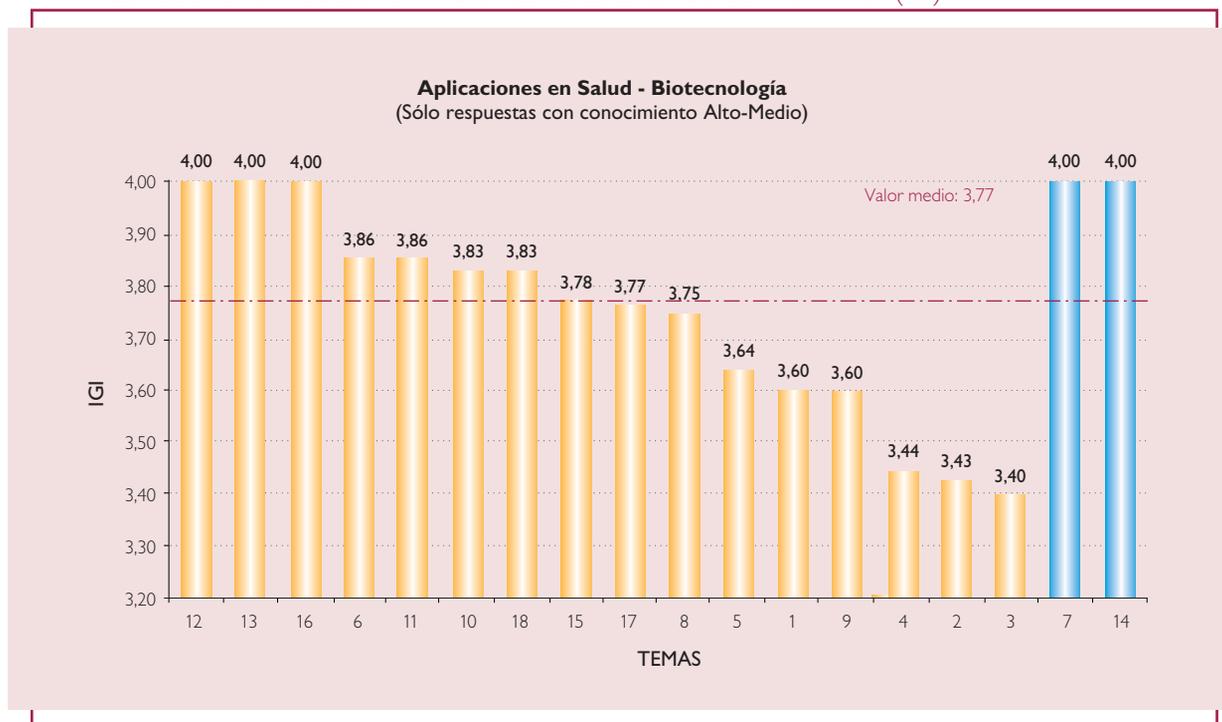
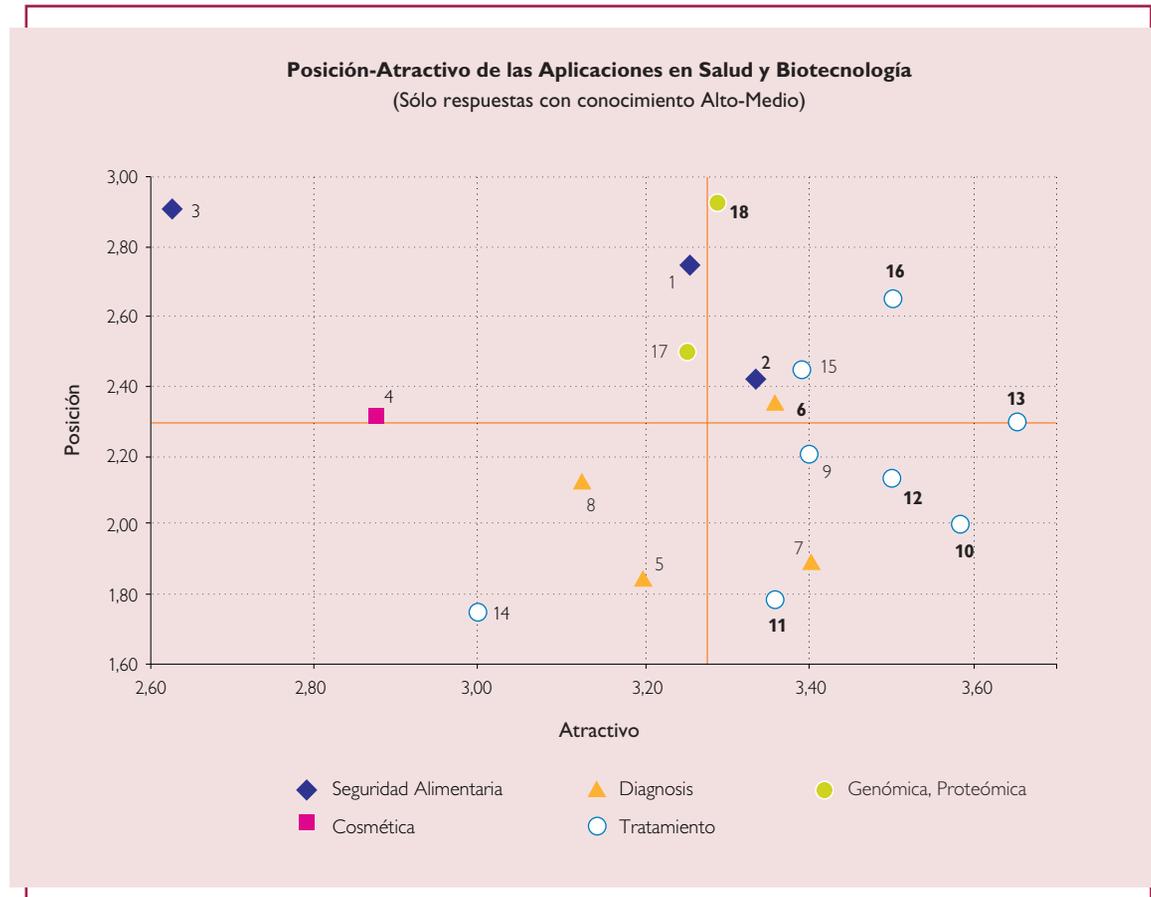


FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN DE LOS TEMAS EN FUNCIÓN DE SUS ÍNDICES MEDIOS DE POSICIÓN Y ATRACTIVO PARA ESPAÑA (LA NUMERACIÓN EN NEGRITA CORRESPONDE A LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO)



La representación gráfica de los valores medios de las Índices de Posición y de Atractivo para España obtenidos en cada uno de los temas, completa la información precedente. La **Figura 24** representa la distribución de los temas del presente cuestionario de nanotecnologías, destacando en **negrita** la ubicación de los temas más relevantes del mismo.

Tal como se aprecia en dicha figura, el plano resultante se divide en cuatro cuadrantes mediante el trazado de dos líneas perpendiculares al valor medio de cada variable. El cuadrante superior derecho representa los temas que teniendo un valor alto de posición de España poseen un gran atractivo y, por lo tanto, suponen ámbitos consolidados de



especialización que generan grandes expectativas. Los temas que se encuentran en este cuadrante y, además, son importantes constituyen fortalezas a reforzar o mantener.

El cuadrante inferior derecho representa los temas de gran atractivo pero con un índice de posición de España inferior a la media, reflejando una clara debilidad relativa a pesar del interés que suscitan los temas que se ubican en el mismo. Los temas que quedan en este cuadrante y son importantes suponen apuestas estratégicas sobre las que se deberá decidir en torno a la oportunidad de su reforzamiento u abandono.

Partiendo de los resultados generales del estudio y de estas informaciones, el análisis y valoración realizados por el Panel de Expertos concluyó considerando como “temas relevantes” los 7 primeros temas de mayor índice IGI. La **Tabla 8** lista este conjunto de temas relevantes, mostrando el grado de desarrollo que, en opinión de los expertos, irán alcanzado desde la actualidad hasta el año 2020 y posteriores.

TABLA 8. GRADO DE DESARROLLO PREVISTO EN LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO SOBRE APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN LA SALUD Y LA BIOTECNOLOGÍA

TEMA	Grado de Desarrollo															
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	>2020	
<b>DIAGNOSIS</b>																
6. Nano2bio: biosensores, biochips, chips celulares	TE			PD											CM	
<b>TRATAMIENTO</b>																
10. Implantes activos	TE				PD						DI	CM				
11. Bioreactores para crecimiento bi y tridimensional de células	TE			PD				DI				CM				
12. Terapias celulares	PD				DI								CM			
13. Ingeniería tisular	TE	PD	DI					CM								
16. Administración de fármacos	PD					DI					CM					
<b>GENÓMICA, PROTEÓMICA</b>																
18. Secuenciación genética	PD	DI				TE						CM	PD			

TE Tecnología Emergente

PD Prototipo o Demostrador

DI Desarrollo Industrial

CM Comercialización en los Mercados

## Diagnosis

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
6.	Nano2bio: biosensores, biochips, chips celulares	3,86	

El objetivo último del nanodiagnóstico es identificar la patología en el estado más inicial posible, idealmente al nivel de una única célula. Para alcanzar este objetivo, se requiere un gran desarrollo de la investigación en nanotecnología para mejorar la eficiencia de los sistemas de diagnóstico in-vitro e in-vivo. Es necesario, mejorar sensibilidad, especificidad y disminuir los falsos positivos.

Puesto que los receptores celulares, los canales de las membranas celulares y la mayoría de los componentes de las células son de tamaño nanométrico, resultan evidentes las ventajas de utilizar las nuevas nanotecnologías para detectar y analizar detalladamente estos componentes.

De esta manera, las nanobiotecnologías resultan extremadamente útiles en el diagnóstico y seguimiento de enfermedades humanas a través de los denominados *nanoarrays*. Igualmente, es relevante en este campo el uso de nanopartículas utilizadas como marcadores en ensayos clínicos o como agentes de contraste en pruebas para el diagnóstico de enfermedades.

También puede utilizarse la nanotecnología para fabricar nanobiosensores, chips que pueden realizar diagnósticos precisos manteniendo un bajo coste de fabricación, portabilidad y evitando el uso de marcadores fluorescentes y de

complicados y caros sistemas ópticos de detección, a la vez que permiten utilizar cantidades ínfimas de muestra. 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.

Enfermedades en las que se esperan avances notables en el diagnóstico en los próximos 10 años son, principalmente, cáncer, patologías del sistema cardiovascular y neurológico, enfermedades infecciosas y metabólicas.

La nanobiotecnología ofrece nuevas herramientas para la detección del cáncer, así como para su prevención y tratamiento. Cáncer es una patología extraordinariamente compleja que conlleva una multitud de procesos moleculares y celulares, incluyendo una acumulación gradual de cambios genéticos en las células tumorales. Por ejemplo, se están haciendo desarrollos en el uso de nanosensores y de marcadores altamente específicos combinados con nanoestructuras tales como los nanoporos para mejorar el diagnóstico y pronóstico de la enfermedad utilizando pequeños volúmenes de material procedentes de biopsias. La investigación de marcadores altamente específicos conduce a nuevas posibilidades en la detección precoz del cáncer.



En el caso del sistema cardiovascular, el desarrollo de sistemas de diagnóstico no invasivo, sistemas para la monitorización de trombos o hemorragias, serían de gran impacto, así como sistemas de diagnóstico y tratamiento de apoplejías y embolias. Dispositivos multifuncionales que pudieran detectar a nivel biológico estos sucesos así como su evolución en tiempo real, y que a su vez pudieran suministrar anticoagulantes o factores de coagulación según cada caso permitirían disminuir la morbilidad de estas afecciones.

La complejidad del cerebro y del sistema neurológico, hace que nuevos sistemas de diagnóstico deben de facilitar la comprensión y posterior tratamiento de enfermedades neurodegenerativas como esclerosis múltiple, Alzheimer o Parkinson.

El futuro de estas aplicaciones parece moverse en el sentido de continuar con la miniaturización de los biochips existentes en la actualidad hacia escalas nanométricas. Los nuevos sensores basados en detección mecánica, así como la utilización de nanopartículas y la tendencia a evitar los tradicionales marcadores fluorescentes en los nuevos dispositivos marcarán el futuro de las aplicaciones de la nanobiotecnología en este campo.

Tecnologías derivadas de la microelectrónica servirán para mejorar la miniaturización de los biochips, así como la posibilidad de integrar sistemas de multianálisis y procesado de señal. Otra tecnología fundamental para la integración de sistemas biosensores para desarrollar lab-on-a-chip es la mejora en sistemas micro-nano-fluídicos.

La microfluídica trata y manipula con pequeñas cantidades de fluidos (de microlitros a picolitros) que fluyen por canales del tamaño de un cabello humano o incluso más estre-

chos. En este entorno, los fluidos muestran un comportamiento muy diferente de sus propiedades en el mundo macroscópico.

La micro-nano-fluídica es una de las innovaciones más importantes de la tecnología de los biochips, y su aplicación es fundamental en campos como el análisis de ADN, el análisis de proteínas, los chips de expresión genética y los de análisis bioquímicos.

En este entorno, la nanotecnología provee nuevas aproximaciones para construir los elementos necesarios en los biochips tales como válvulas, sistemas de bombeo y sistemas de separación y detección molecular.

En opinión de los expertos consultados el tema más importante en esta área es el de las aplicaciones Nano2bio (tema 6). No obstante, el grado de desarrollo de las aplicaciones en este tema no alcanzará el nivel de '*desarrollo industrial*' hasta después del 2020. Además, los expertos consideran que España estará en una situación de dependencia tecnológica del exterior en todo el horizonte temporal analizado.

A pesar de esta previsión largoplacista, los expertos han considerado que el tema posee un importante atractivo tanto en su vertiente científico-técnica como de mercado, y que la posición de España es equivalente a la de los países de su entorno o incluso algo mejor en el ámbito de las capacidades en ciencia y tecnología.

El principal factor crítico que es preciso resolver para impulsar el avance en este tema es, precisamente, el desarrollo de nuevo conocimiento en ciencia y tecnología, lo cual refleja sin ambigüedad el carácter emergente del mismo.

## Tratamiento

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
10.	Implantes activos	3,83	2016 – 2020 ó >2020
11.	Bioreactores para crecimiento bi y tridimensional de células	3,86	2016 - 2020
12.	Terapias celulares	4,00	2016 - 2020
13.	Ingeniería tisular	4,00	2011 - 2015
16.	Administración de fármacos	4,00	2011 - 2015

### ***Implantes, terapia celular e ingeniería tisular:***

Quizás las aplicaciones en medicina regenerativa son las que presentan la mayor capacidad de cambiar radicalmente la manera en que se tratan las enfermedades. En ella, la Ingeniería de tejidos incluye el uso de células y moléculas de señalización celular en las estructuras artificiales que sirven de guía, anclaje o andamio. El proceso incluye el depósito o siembra de las células madre que han de servir para la regeneración tisular guiada, a partir de la proliferación, diferenciación y finalmente la definición de tejidos con características similares a los naturales. Estas estructuras serán luego implantadas en el paciente para sustituir tejidos dañados o enfermos. Con el tiempo, estos andamios son reabsorbidos y sustituidos finalmente por los nuevos tejidos generados, en los que se han integrado tanto las interconexiones sanguíneas como nerviosas.

Actualmente las aplicaciones clínicas de la ingeniería tisular se encuentran en el cultivo de piel, cartílago y hueso autólogo para su posterior implantación. Gracias a la nanotecnología, se han establecido las bases para el desarrollo de los biomateriales de tercera generación, que se deberán

utilizar en el futuro para regeneración de tejidos utilizando cirugía mínimamente invasiva.

Como ejemplo de biomaterial, el cristal bioactivo está considerado actualmente como el material más biocompatible en el campo de la regeneración ósea debido a su bioactividad, osteoconductividad (capacidad del material para actuar como andamiaje y soportar el acoplamiento celular y la consiguiente formación y deposición de matriz ósea) e incluso osteoinductividad (especie de andamio que ayuda a las células precursoras osteogénicas a diferenciar entre las células óseas maduras). Recientemente se ha fabricado, por primera vez, un cristal bioactivo en forma de nanofibras. Este material, que presenta una bioactividad excelente, podría abrir la puerta al desarrollo de nuevos materiales de regeneración ósea nanoestructurados para la medicina regenerativa y la ingeniería de tejidos.

La disponibilidad clínica de las terapias basadas en la ingeniería de tejidos representa un enorme paso adelante para el desarrollo de la medicina regenerativa. Al basarse en los logros de la ingeniería de los tejidos, las terapias avanzadas de la medicina regenerativa pueden intentar abordar en un



futuro próximo objetivos más ambiciosos, como el control de la regeneración de tejido patológico, y tratar de modificar y prevenir discapacidades crónicas como la artrosis, las enfermedades del aparato cardiovascular y del sistema nervioso central. Estas aplicaciones implican no sólo una mejor comprensión de la biología básica implícita en la regeneración del tejido y en la cicatrización de la herida, en su sentido más amplio, sino también en el desarrollo de estrategias y herramientas eficaces para iniciar y controlar el proceso regenerativo.

En el campo de los biomateriales y la biotecnología, el término 'biomimético' se ha creado para describir el proceso de simulación de lo que ocurre en la naturaleza. El enfoque biomimético requiere tres elementos clave: biomateriales inteligentes, moléculas bioactivas de señalización y las propias células que han de servir de base para el crecimiento de los tejidos.

La tercera generación de biomateriales incorpora la adaptación de polímeros re-absorbibles a nivel molecular para producir respuestas celulares específicas. Estos biomateriales inteligentes están diseñados para reaccionar a los cambios del entorno y para estimular respuestas específicas celulares a nivel molecular. Por ejemplo, nuevos desarrollos de polímeros sintéticos esta siendo desarrollados para que su estructura molecular se modifique según los cambios de temperatura, pH, estimulación eléctrica o nivel energético.

La nanotecnología ofrece una nueva perspectiva en la ciencia de materiales para imitar los diferentes tipos de matrices extra celulares presentes en los tejidos. Actualmente existen técnicas que permiten producir estructuras macromoleculares de tamaño nanométrico, con composición y arquitectura controlados.

Mediante la química de polímeros, incorporando nuevas tecnologías como electrospinning, patterning y autoensamblaje, se pueden fabricar un amplio abanico de estructuras como nanofibras de diámetro y morfología superficial bien definida, andamios (scaffolds) porosos, nanocables y nanoguías, nanoesferas, nano-ramificaciones (por ejemplo, con endrímicos), nano-composites y otras estructuras macromoleculares.

La nanotecnología también permite la mejora de biomateriales no-reabsorbibles y un mejor control de las interacciones biológicas a nivel nanométrico, que aumentan la funcionalidad y longevidad de los materiales implantados. La aplicación de recubrimientos bioactivos o nanopartículas en la superficie de los implantes, hará posible sujetar de forma más natural el implante a los tejidos adyacentes y prolongar significativamente la vida útil del mismo. Del mismo modo, cabe la posibilidad de rodear el implante de tejido con una barrera nanofabricada que impida la activación de los mecanismos de rechazo, lo que permitiría una mayor utilización de las donaciones de órganos.

Nanomateriales y nanocompuestos que permitan mejorar las propiedades mecánicas podrán sustituir a materiales utilizados actualmente que presentan degradación con el uso y la fatiga. Nanomateriales con mejores propiedades eléctricas podrían reemplazar a los materiales convencionales utilizados en las prótesis neurológicas, cuyo rendimiento se deteriora con el tiempo.

Actualmente, se investiga en el desarrollo de los biomateriales denominados de "tercera generación", en los que los propios genes del cuerpo controlarían la reparación de los tejidos, lo que supondría la existencia de biomateriales personalizados para cada paciente y activados por sus propios genes.

La diferenciación celular ocurre en los mamíferos, como parte del desarrollo embriológico y continúa en la vida adulta, como parte del ciclo vital de las células o para reparar daños tras una lesión. Desde el punto de vista celular, el crecimiento significa un proceso continuo de renovación celular que depende de la presencia de células progenitoras que dan lugar a células diferenciadas maduras. La renovación celular es más rápida en determinados tejidos, como el epitelio intestinal, la sangre y la epidermis, mientras que es mucho más lenta en huesos y cartílagos. Así mismo se ha considerado hasta fecha reciente, que esta renovación era casi nula en el cerebro y el corazón. Sin embargo, resultados científicos obtenidos en los últimos años han cambiado radicalmente esta visión, mostrando que tejidos de estos órganos pueden regenerarse después de una lesión de isquemia. Este cambio de paradigma ha reorientado la investigación científica para entender los mecanismos implicados en la captación de células madre y su activación para la regeneración.

El principal objetivo de los actuales y futuros esfuerzos en la medicina regenerativa será efectivamente explotar el abanico de posibilidades de los recientes descubrimientos sobre el potencial reparador de las células madre adultas. La Nanotecnología puede ayudar en la búsqueda de dos objetivos fundamentales: la identificación de sistemas de señalización, a fin de promover el potencial endógeno de las células madre adultas, y la investigación de sistemas receptores eficaces donde dirigir de forma efectiva las terapias con células madre adultas.

Un análisis cuidadoso de las perspectivas que ofrece la medicina regenerativa lleva a la conclusión de que tanto la investigación básica como aplicada debe llevarse a cabo, no sólo en la biología del desarrollo y la investigación con células madre, sino también en el campo de los biomateriales.

Las aplicaciones de las nanotecnologías en implantes, terapia celular e ingeniería tisular (temas 10, 11, 12, y 13) evolucionarán a diferentes ritmos y los expertos consideran que su grado de desarrollo o madurez alcanzará el nivel de '*desarrollo industrial*' hacia 2020 en el primer caso, entre 2016 y 2020 en el segundo y antes del 2015 en el caso de la ingeniería tisular. El grado de dominio tecnológico de España será el de '*dependencia del exterior*' hasta 2020, salvo en la terapia celular donde se dará una situación de '*mix tecnológico*' a partir de 2010-2015.

En opinión de los expertos, todos los temas poseen un gran atractivo para España pero nuestra posición resulta inferior a la de los países de su entorno en cuanto a aplicabilidad industrial aunque equivalente o superior a los mismos en cuanto a capacidad científico-tecnológica. El principal factor crítico es en todos los casos el desarrollo de conocimientos en ciencia y tecnología, seguido de la necesidad de equipamientos e infraestructuras adecuadas salvo para las terapias celulares donde el segundo aspecto crítico se refiere a los aspectos regulatorios de la salud pública.

### ***Nanobiotecnología aplicada a nuevas técnicas de administración de fármacos***

La administración de los fármacos es hoy en día una de las consideraciones más importantes a tener en cuenta en el desarrollo de un nuevo tratamiento. Las nuevas tecnologías, y en particular la nanobiotecnología, proporcionan fórmulas innovadoras en este campo ya que permitirían la creación de dispositivos suficientemente pequeños como para atravesar los conductos vasculares (con poros de unos 50 nm de diámetro) y las membranas celulares, de manera que puedan realizar tareas múltiples y específicas con una mínima invasión.



Las nanotecnologías ya han mostrado su potencialidad en problemas esenciales tales como la solubilidad de los fármacos, que resulta un factor clave para su efectividad independientemente de su ruta de administración. También proporcionan soluciones alternativas a la inyección directa de los fármacos (vías tópicas de administración) e incrementan la efectividad del medicamento mediante el control preciso de la dosis requerida y del tamaño, la morfología y las propiedades superficiales del compuesto. Así mismo, resultan interesantes los sistemas de liberación continuada de fármacos en pequeñas dosis desde el interior del cuerpo del paciente, y que pueden ser claves en mejorar la tolerancia del mismo al tratamiento (fármacos en nano vesículas o en lisosomas).

La administración de fármacos también puede realizarse mediante dispositivos que se implantan en el interior del cuerpo humano y liberan fármacos de manera programada y controlada. Estos dispositivos podrán ser mejorados utilizando las nanotecnologías con el fin de que sean más biocompatibles (nanocapas poliméricas, funcionalización superficial con biomoléculas), más pequeños (nanoencapsulados), más baratos y capaces de liberar múltiples fármacos de forma selectiva.

La nanobiotecnología es también un factor clave en la denominada terapia génica, es decir, en la posibilidad de liberar fármacos que actúen sobre la genética celular, vacunándonos contra enfermedades como el SIDA, la hepatitis C y la malaria y, en otra vertiente, curando enfermedades genéticas y el cáncer. En la actualidad, ya es posible preparar na-

nopartículas capaces de liberar cadenas de ADN al interior de las células y de modificar de esta manera su expresión genética, aunque se han de mejorar los sistemas que puedan modular estas modificaciones así como la duración de las modificaciones efectuadas.

El futuro inmediato de los nuevos sistemas para la administración de medicamentos pasa por utilizar las herramientas de la nanotecnología para la fabricación de sistemas de liberación de fármacos inteligentes y es hacia este campo al que se dirige ya la investigación de las empresas farmacéuticas.

A tenor de las respuestas obtenidas, la administración de fármacos (tema 16) es uno de los temas más importantes para la aplicación de las nanotecnologías en el ámbito de la salud. El grado de desarrollo de las aplicaciones previstas alcanzará el nivel de '*desarrollo industrial*' antes de 2015 y, en todo el horizonte temporal explorado, se dará una situación de '*mix tecnológico*' al incorporar a los desarrollos tanto tecnologías nacionales (>25%) como extranjeras (<75%).

Las aplicaciones en este campo poseen el máximo interés y atractivo para los expertos españoles, que consideran que España posee en este tema una posición superior a la de los países de su entorno. El desarrollo de conocimientos en ciencia y tecnología y los mecanismos de difusión y transferencia tecnológica son los principales factores críticos a resolver para impulsar las aplicaciones en este tema.

## Genómica, Proteómica

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
18.	Secuenciación genética	3,83	2011 - 2015

La biología molecular y la biotecnología ha impulsado el proyecto del Genoma Humano que se inició en 1990 y por los avances tecnológicos ha sido posible que su secuenciación haya sido terminada el año 2000. El genoma humano parece estar compuesto de unos 40.000 genes que se transcriben en aproximadamente 250.000 moléculas de RNA (transcriptoma) que tras ser procesadas se traducen en proteínas, cuya modificación post-traducciona resulta en más de un millón de proteínas que constituyen el proteoma.

La genómica es la disciplina que se ocupa de descifrar el genoma de los seres vivos, es decir, del conjunto de los genes de una especie dada, así como de sus funciones y su regulación. Los microarrays de DNA son las herramientas que permiten investigar de forma amplia la respuesta celular mediante los cambios en la transcripción del genoma a nivel del mRNA. Como consecuencia de lo anterior, la cantidad de información que se está generando es enorme y, por tanto, ha sido necesario el desarrollo en paralelo de potentes herramientas bioinformáticas que permitan almacenar y analizar los datos obtenidos. Por otra parte, el conocimiento del control genético de las funciones celulares constituirá la piedra angular de futuras estrategias para la prevención y tratamiento de la enfermedad. Desde el punto de vista farmacológico, el conocimiento del genoma y, con ello, la identificación y validación de nuevos blancos moleculares representa una herramienta invaluable para el

desarrollo de nuevos medicamentos con potencialidad terapéutica en el futuro.

La proteómica consiste en el estudio del proteoma, la cual se ocupa de investigar la función y regulación de las proteínas codificadas por el genoma así como su localización específica subcelular, su abundancia relativa y los cambios en respuesta a estímulos, con objeto de identificar su función en el contexto del organismo. Las técnicas utilizadas para el análisis proteómico incluyen la extracción de las proteínas de un tejido dado, seguido de su separación y cuantificación mediante electroforesis bidimensional y posterior análisis por espectrofotometría de masas e identificación con la ayuda de bancos de datos que almacenan información sobre estructuras de polipéptidos. La proteómica ofrece un abordaje alternativo y complementario de la tecnología genómica, para la identificación y validación de blancos proteicos para los fármacos y para la descripción de los cambios en la expresión proteica bajo la influencia de la enfermedad o el tratamiento con fármacos.

Las más recientes 'ómicas' (citómica y metabolómica) se encargan de relacionar el proteoma con la estructura y función celular. La multitud de proteínas que constituyen el proteoma participan en complejas vías de traducción de señales que controlan el metabolismo del organismo y los tejidos y, consecuentemente influyen en la síntesis y degradación de pequeñas moléculas. En este contexto, la metabolómica se



ocupa de estudiar el estado de la fisiología de un organismo, órgano, tejido o célula determinados mediante el análisis de la concentración del número más amplio posible de pequeñas moléculas no proteicas o metabolitos sintetizados endógenamente. Este conjunto de moléculas de un organismo o tejido determinado constituye su perfil bioquímico o metaboloma, y los estudios comparativos del metaboloma permiten detectar y analizar de forma muy sensible la naturaleza de cualquier cambio de la fisiología celular o tisular.

El reciente desarrollo tecnológico en genómica y proteómica tiene trascendencia en diversos campos, pero es especialmente destacable en la biomedicina. El impulso de estas nuevas herramientas, junto con los avances en la secuenciación del genoma humano son los elementos claves del desarrollo del conocimiento fundamental para la salud. El abordaje del proteoma y genoma humano requiere de un esfuerzo pluridisciplinar que integre los empeños de expertos en diversas áreas como biología, informática, física, matemática y medicina, que lleven a generar nuevos conceptos en biología, identificando nuevas dianas diagnósticas y terapéuticas o determinando el mecanismo de acción de fármacos.

La era postgenómica está revolucionando el proceso de descubrimiento y desarrollo de nuevos fármacos ya que provee de nuevas oportunidades para la identificación de dianas terapéuticas. Sin embargo, se requieren métodos más eficientes y baratos, capaces de detectar y seguir en tiempo real interacciones biomoleculares específicas sin requerir el uso de marcadores fluorescentes. Es en esta vertiente en la que la nanobiotecnología puede aportar métodos revolucionarios para acelerar y facilitar los procesos de descubrimiento y desarrollo de nuevos fármacos.

Entre las investigaciones que se están llevando a cabo en la actualidad en este campo, destacan el uso de puntos cuánticos y nanopartículas fluorescentes para utilizarlas como novedosos marcadores en el estudio de proteínas de membrana de células vivas, o en el estudio de receptores celulares en el caso de neuronas para identificar nuevos fármacos candidatos de curar desórdenes neuronales como la epilepsia y la depresión.

El futuro del descubrimiento de nuevos fármacos pasa por la utilización de la genómica y la proteómica en la identificación de dianas terapéuticas y en la miniaturización de estos procesos con el fin de acortar el tiempo y de aumentar la precisión y eficiencia en los procesos de validación de fármacos. La fabricación de circuitos microfluídicos permitirá leer directamente las señales a partir de estos chips de manera análoga a como se hace hoy en día en los circuitos microelectrónicos, sin necesidad de utilizar instrumentación masiva. De esta manera, la nanotecnología se aplicará en todos los estadios del desarrollo del fármaco, desde su formulación a su validación y aplicación terapéutica.

Así, en el estudio de tumores, tanto la identificación de marcadores moleculares, como el diagnóstico precoz y la respuesta al tratamiento constituyen las principales metas de la investigación clínica actual. La utilización de técnicas de nueva aplicación como la genómica y la proteómica, en combinación con herramientas bioinformáticas, pueden ser de gran interés. El cáncer es una enfermedad compleja multifactorial que afecta a una proporción bastante significativa de la población. Así pues, el uso de nuevos abordajes más rápidos y eficientes constituyen la base de la investigación clínica, centrándose así en la identificación de nuevos marcadores implicados en el diagnóstico precoz, pronóstico de la enfermedad y/o respuesta al tratamiento.

Especialmente, el uso de arrays de expresión supone una herramienta muy robusta que hasta el momento se ha centrado en la identificación de fenotipos moleculares en tumores como por ejemplo el de mama, colon, pulmón, o próstata, entre otros. El sujeto de estos estudios ha sido identificar perfiles genéticos que puedan ser aplicados al diagnóstico o progresión de la enfermedad. Sin embargo, la estandarización en la recolección de las muestras, el análisis o la validación han dificultado el uso de esta plataforma. Conjuntamente con el uso de microarrays se ha ido desarrollando la utilización de plataformas proteómicas en el estudio del cáncer.

Tradicionalmente la electroforesis en dos dimensiones junto con la espectrometría de masas y la utilización de los denominados matrices de tejidos (tissue microarrays-TMA) forman las nuevas plataformas proteómicas. La proteómica moderna, actualmente, se ha enfocado más en el estudio de muestras serológicas, mediante la utilización de espectrometría de masas, y ha centrado todo su esfuerzo en la identificación de nuevos marcadores moleculares y dianas terapéuticas. El uso del análisis del patrón proteico en suero ha creado firmas diagnósticas en cáncer de ovario, mama, y próstata, entre otros.

Los progresos en conocimiento de los mecanismos moleculares por los que se producen las enfermedades han conseguido llegar al diseño de fármacos que actúan sobre moléculas concretas. Estos fármacos intentan reproducir aquellas funciones celulares que se han alterado por el estado patológico. Sin embargo, la relación entre la funcionalidad celular y las múltiples acciones de las sustancias son siempre muy complejas. Así, una misma sustancia puede producir efectos completamente opuestos dependiendo

de la situación en la que se encuentre el organismo. Es por ello que el desarrollo de nuevos fármacos continúa enfrentándose con la gran barrera de la eficacia.

En resumen, los compuestos son examinados durante la fase pre-clínica bajo dos criterios básicos: a) que ejerzan una actividad farmacológica definida y b) que posean una tolerancia lo suficiente elevada de manera que exista una ventana terapéutica suficientemente amplia. En este sentido, la farmacología se ha beneficiado extraordinariamente de la posibilidad de utilizar, no sólo la estrategia multidisciplinar anteriormente mencionada, sino también los nuevos métodos *in vitro* e *in silico*, y las nuevas tecnologías denominadas genéricamente ÓMICAS (genómica, proteómica, metabolómica y citómica), de gran ayuda para descubrir y desarrollar nuevas herramientas terapéuticas.

Los expertos consultados consideran que la *secuenciación genética* (tema 18 de esta área) es uno de los más importantes del estudio. En su opinión, las aplicaciones de las nanotecnologías en este ámbito, en el que España mantendrá una clara dependencia tecnológica del exterior hasta más allá de 2020, se encuentran en un nivel relativamente avanzado y darán lugar a desarrollos industriales en el próximo lustro (2011-2015). Los resultados obtenidos muestran que tanto en el campo de la ciencia y tecnología como en el de aplicabilidad industrial y mercado, la posición y atractivo para España de este tema son muy superiores a la media de los países de su entorno. El principal obstáculo para el avance en este campo se ha relacionado con la necesidad de equipamientos e infraestructura adecuados, seguidos, de lejos, por los mecanismos de difusión y transferencia tecnológica.



## Conclusión

Es evidente que las nanotecnologías aplicadas a la biomedicina y conocidas como nanobiotecnología o nanomedicina es uno de los ámbitos de mayor proyección de futuro. Sin embargo, es necesario destacar que para una correcta evaluación del sector son muy importantes considerar no solo los aspectos científicos sino también las consideraciones relacionadas con la seguridad y la regulación de productos y tecnologías médicas.

Actualmente no existe una regulación exhaustiva sobre los productos nanobiotecnológicos, ya que de éstos sólo han llegado al mercado pocos ejemplos. Previa a la introducción de estas nuevas tecnologías de forma masiva se requerirá una regulación al respecto que ya empieza a anticiparse en el caso de la industria farmacéutica.

Las cuestiones de reglamentación y seguridad en la aplicación de las nanobiotecnologías son especialmente relevantes, dado que la opinión pública debe de tener una información detallada sobre las aportaciones que puede realizar la nanotecnología para evitar falsas expectativas a la vez que se desvanecen interpretaciones fantasiosas e infundadas que conceptos como “regeneración de tejidos u órganos” puedan dar lugar.

En resumen, las nanotecnologías aplicadas a la biomedicina, se orientan para ofrecer nuevas herramientas que permitan comprender y solventar cuestiones de atención sanitaria en patologías de difícil diagnóstico o tratamiento en la actualidad.

Para finalizar, se podrían utilizar los siguientes indicadores genéricos para determinar el grado de cumplimiento de los temas tratados, distinguiendo el nivel nacional del internacional:

A nivel nacional:

- Proyectos tractores y proyectos CENIT en las temáticas citadas.
- Solicitudes de patentes.
- Creación de spin-off y start-ups en cada uno de los ámbitos.

A nivel internacional:

- Proyectos en el VII programa marco en los diferentes ámbitos y en las convocatorias en USA (NIH, NSF, etc.).
- Evolución en el numero de patentes internacionales.
- Evolución de los indicadores de ventas de productos que incluyan parcial o totalmente nanotecnologías aplicadas a biomedicina (a través de la plataforma tecnológica europea).



# Aplicaciones de las Nanotecnologías en Sectores tradicionales: Textil, Construcción, Cerámica y Otros

*Julio Santarén<sup>1</sup>*

Las industrias de los sectores tradicionales se enfrentan en los últimos años a una situación cada vez más compleja y difícil, marcada por un entorno abierto, globalizado y competitivo, con la entrada masiva de economías emergentes, al mismo tiempo que la sociedad demanda productos de mejores prestaciones, más seguros y sostenibles.

Esta situación está exigiendo una adaptación y reestructuración de muchos sectores industriales para desarrollar procesos más eficientes y de menor impacto medioambiental, y productos que satisfagan las expectativas de los consumidores.

El uso de nanotecnologías para desarrollar productos con nuevas y mejores propiedades está despertando grandes

---

<sup>1</sup> Jefe del Departamento de Investigación Aplicada y Procesos. TOLSA



expectativas por su potencial capacidad para dar origen a innovaciones radicales que se pueden traducir en productos de alto valor añadido para nuevos nichos de mercado.

El cuestionario sobre “*Aplicaciones de las Nanotecnologías en Sectores Tradicionales: Textil, Construcción, Cerámicas y Otros*” aborda los principales temas de investigación en nanotecnologías en relación con estos ámbitos sectoriales. El cuestionario plantea 12 temas de futuro en las siguientes áreas de aplicación:

- Textil.
- Construcción.
- Cerámica.
- Varios.

## Temas Más Relevantes del Cuestionario de Aplicaciones de las Nanotecnologías en Sectores Tradicionales

Tal como se comentaba en el capítulo 2, el criterio de relevancia seguido en el estudio es el Índice Grado de Importancia (IGI). La **Figura 25** muestra la clasificación de los temas más relevantes del cuestionario según dicho índice, excluyendo a la derecha aquellos temas en los que el bajo número de respuestas no autoriza su consideración en el presente estudio al margen de las valoraciones que hayan podido recibir.

Los temas con mayor puntuación representan para los expertos las principales inquietudes de futuro en relación con las nanotecnologías.

FIGURA 25. CLASIFICACIÓN DE LOS TEMAS SEGÚN EL ÍNDICE DE GRADO DE IMPORTANCIA (IGI)

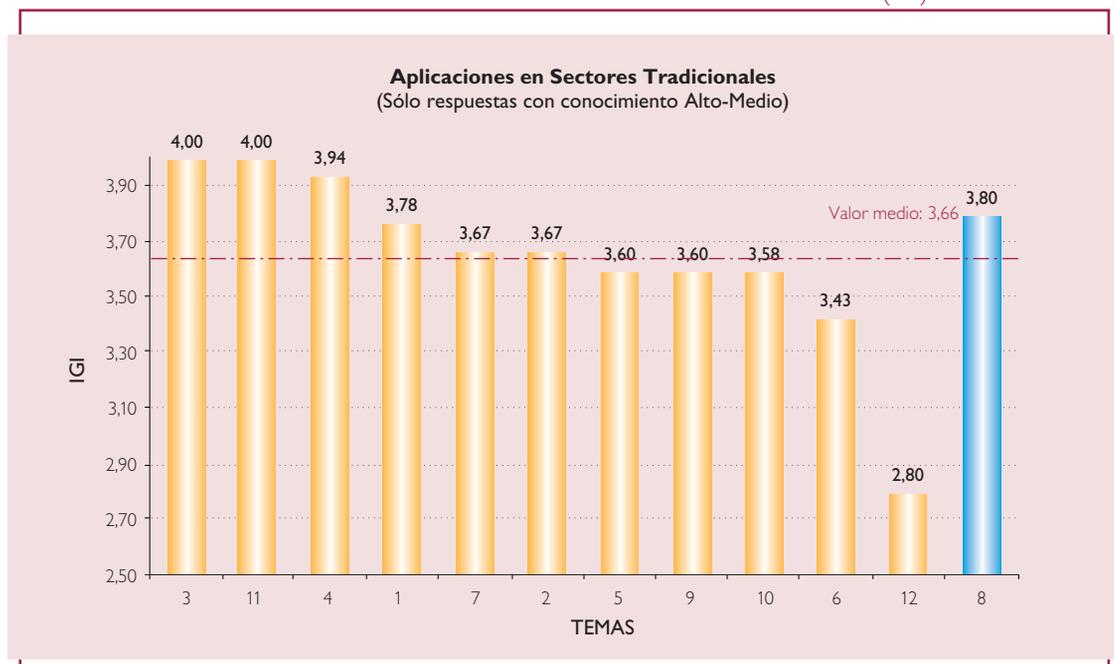
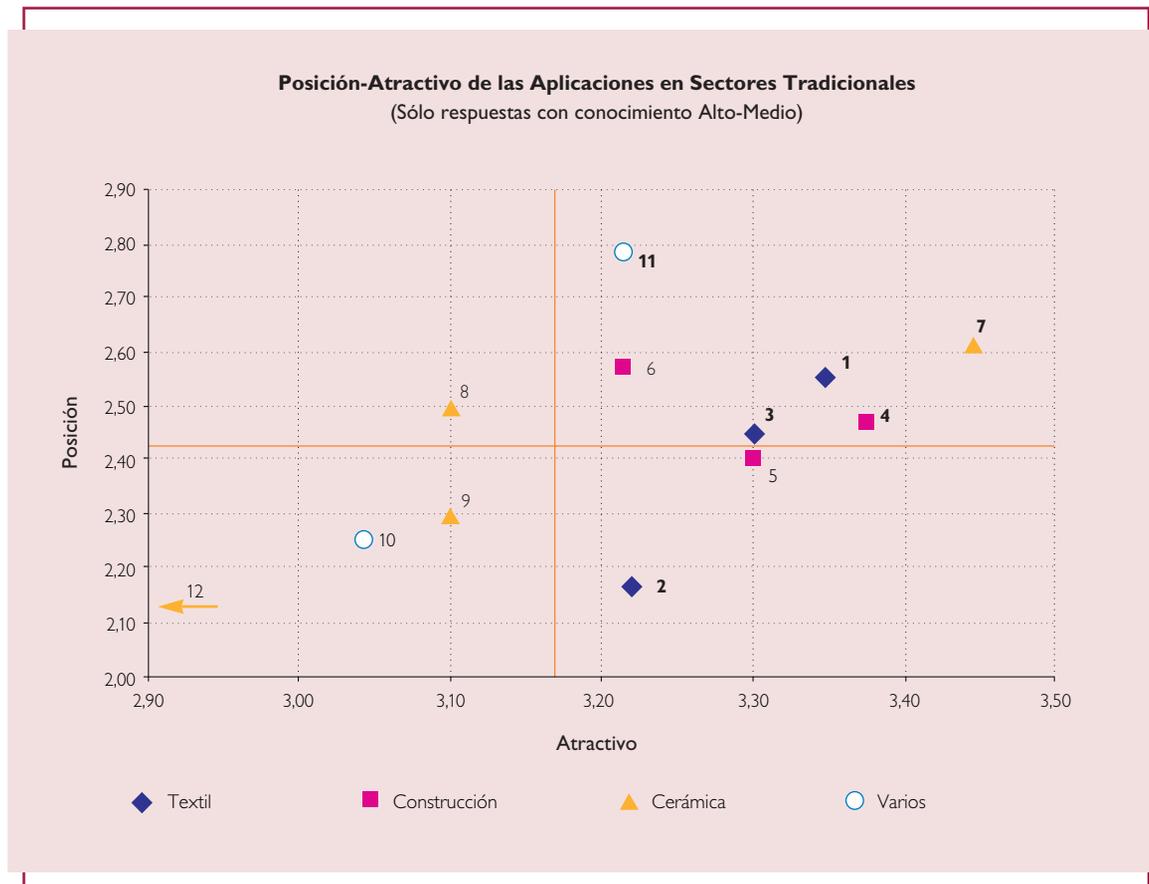


FIGURA 26. DISTRIBUCIÓN DE LOS TEMAS EN FUNCIÓN DE SUS ÍNDICES MEDIOS DE POSICIÓN Y ATRACTIVO PARA ESPAÑA (LA NUMERACIÓN EN NEGRITA CORRESPONDE A LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO)



La representación gráfica de los valores medios de las Índices de Posición y de Atractivo para España obtenidos en cada uno de los temas, completa la información precedente. La **Figura 26** representa la distribución de los temas del presente cuestionario de nanotecnologías, destacando en **negrita** la ubicación de los temas más relevantes del mismo.

Tal como se aprecia en dicha figura, el plano resultante se divide en cuatro cuadrantes mediante el trazado de dos líneas perpendiculares al valor medio de cada variable. El cuadrante superior derecho representa los temas que teniendo un valor alto de posición de España poseen un gran atractivo y, por lo tanto, suponen ámbitos consolidados de especialización que generan grandes expectativas. Los



temas que se encuentran en este cuadrante y, además, son importantes constituyen fortalezas a reforzar o mantener.

El cuadrante inferior derecho representa los temas de gran atractivo pero con un índice de posición de España inferior a la media, reflejando una clara debilidad relativa a pesar del interés que suscitan los temas que se ubican en el mismo. Los temas que quedan en este cuadrante y son importantes suponen apuestas estratégicas sobre las que se deberá decidir en torno a la oportunidad de su reforzamiento o abandono.

Partiendo de los resultados generales del estudio y de estas informaciones, el análisis y valoración realizados por el Panel de Expertos concluyó considerando como “temas relevantes” los 5 primeros temas de mayor índice IGI. La **Tabla 9** lista este conjunto de temas relevantes, mostrando el grado de desarrollo que, en opinión de los expertos, irán alcanzado desde la actualidad hasta el año 2020 y posteriores.

**TABLA 9. GRADO DE DESARROLLO PREVISTO EN LOS TEMAS MÁS IMPORTANTES DEL CUESTIONARIO SOBRE APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN SECTORES TRADICIONALES**

TEMA	Grado de Desarrollo														
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	>2020
<b>TEXTIL</b>															
1. Fibras y textiles con funciones nuevas o mejoradas (durabilidad, resistencia, eficiencia en el lavado, conductoras, protectoras, con propiedades médicas e higiénicas...)		PD					DI							CM	
2. Fibras y textiles inteligentes (en respuesta a cambios ambientales, a cambios corporales...)		PD					DI							CM	
3. Fibras y textiles técnicos (industria, transporte, geotextiles...) de altas prestaciones mecánicas y funcionales		PD					DI							CM	
<b>CONSTRUCCIÓN</b>															
4. Nuevos materiales para la mejora del confort y la eficiencia energética: aislante/conductor térmico, eléctrico, magnético, acústico; ignífugo, hidrófobo, autolimpiable, etc.		PD					DI							CM	
<b>CERÁMICA</b>															
7. Cerámicas con nuevas funciones: antideslizante, antirayado, nuevos efectos de diseño y textura, efectos térmicos, etc.	TE			PD			DI							CM	
<b>VARIOS</b>															
11. Nuevos envases inteligentes: con control de atmósfera interna, marcadores y sensores, liberación de conservantes, etc.		PD					DI							CM	

■ Tecnología Emergente

■ Prototipo o Demostrador

■ Desarrollo Industrial

■ Comercialización en los Mercados

## Textil

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
1.	Fibras y textiles con funciones nuevas o mejoradas (durabilidad, resistencia, eficiencia en el lavado, conductoras, protectoras, con propiedades médicas e higiénicas...)	3,78	2011 - 2015
2.	Fibras y textiles inteligentes (en respuesta a cambios ambientales, a cambios corporales...)	3,67	2011 - 2015
3.	Fibras y textiles técnicos (industria, transporte, geotextiles...) de altas prestaciones mecánicas y funcionales	4,00	2011 - 2015

El sector textil y de la confección es uno de los sectores industriales tradicionales más importante de nuestro país. Este sector, con 6.100 empresas, más de 200.000 trabajadores, y una producción de 11.400 millones de euros, representa el 7% del empleo industrial, el 4% del PIB y el 4,5% de las exportaciones en 2006. El sector textil español ocupa la quinta posición a nivel europeo y supone aproximadamente el 10% del empleo de este sector en la UE-25 y casi el 8% de la producción.

A pesar de su importancia económica, este sector se enfrenta a una creciente competencia de productos textiles de alto consumo provenientes de países con costes de producción y sociales bajos, en especial tras el impacto de la liberalización de 2005 y la eliminación de aranceles en la UE. En consecuencia, se ha producido una fuerte reestructuración del sector en los últimos años que ha supuesto, en el periodo 2000-2006, la reducción de un 32% de la producción y la pérdida del 28% del empleo, más de 60.000 puestos de trabajo.

Esta situación está forzando una reorientación estratégica de las empresas del sector textil en España, y en el resto de la UE, basada en la innovación y la orientación paulati-

na hacia productos especiales de mayor valor añadido para incrementar la competitividad del sector a largo plazo.

Entre las tendencias esenciales de este enfoque hacia la innovación de productos y procesos, se encuentran:

- El cambio hacia productos especiales a base de procesos de alta tecnología, incluyendo nanotecnologías.
- El uso de textiles como material alternativo en nuevas aplicaciones y en otros sectores industriales como el aeroespacial, automóvil, aplicaciones médicas y relacionadas con la salud, geotextiles, ingeniería civil, agrotextiles o telecomunicaciones.
- El paso de la fabricación masiva de productos textiles a la personalización de productos enfocados al usuario final.

Algunas de las líneas actuales de investigación sobre el uso de nanotecnologías para el desarrollo de fibras y textiles avanzados son:

- Desarrollo de nanofibras y sus procesos de obtención (electrospinning).



- Fibras de nanocompuestos con distintas matrices poliméricas (poliéster, poliamida, polipropileno, etc.) usando diferentes nanomateriales para mejora de propiedades:
  - Nanoarcillas (propiedades mecánicas, protección a la radiación UV, teñido de hilos de PP).
  - Nanofibras de carbono y nanotubos de carbono (elevada resistencia mecánica, conductividad eléctrica y propiedades antiestáticas).
  - Nanopartículas de óxidos metálicos como  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$  y  $\text{MgO}$  (protección a radiación UV, propiedades antiestáticas, antimicrobianas, propiedades fotocatalíticas para descomposición de compuestos orgánicos).
- Fibras con estructura nanoporosa para obtención de fibras ligeras con alto aislamiento térmico, resistencia al agrietamiento manteniendo resistencia mecánica, o encapsulación de compuestos activos.
- Acabados textiles nanoestructurados:
  - Aplicación de acabados en nanosoles, nanoemulsiones o nanoencapsulados para obtener recubrimientos más completos y precisos.
  - Acabados con nanopartículas ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ag}\dots$ ), para introducir nuevas funciones sin alterar el brillo ni el color del textil: propiedades repelentes de agua, grasa y suciedad, propiedades antimicrobianas, etc.
  - Recubrimientos con nanocapas autoensambladas.

Los expertos consultados han considerados los temas 1, 2 y 3 como los más importantes en relación con la aplicación de las nanotecnologías en el sector textil.

El desarrollo de estos nuevos materiales responde a la necesidad del sector de productos de más calidad, con nuevas y mejores prestaciones, con mayor valor añadido y capaces de satisfacer las expectativas de los consumidores, las ma-

yores exigencias de la moda y los requerimientos de los textiles técnicos.

Algunos problemas que se pueden plantear son:

- Alto costo y baja capacidad de producción de algunas nanotecnologías que dificultan su producción industrial masiva y su introducción en algunos productos con márgenes reducidos.
- El posible efecto que puede tener sobre la salud de los usuarios y el medioambiente la liberación incontrolada de nanopartículas durante la fabricación, uso, lavado, reciclado o eliminación de las fibras y textiles.

Algunas de las tecnologías y conocimientos críticos que se requieren para la materialización de los temas identificados son:

- Desarrollo de nanomateriales (nanopartículas, nanofibras) con nuevas propiedades y funcionalidades.
- Procesos de obtención de nanomateriales escalables a nivel industrial, de forma controlada y a costo razonable.
- Dispersión y estabilización de nanopartículas y nanoaditivos en la matriz polimérica.
- Desarrollo de procesos de nanorecubrimientos de fibras y nanoacabados controlables e implantables industrialmente.
- Integración en tejidos de dispositivos electrónicos como nanosensores, y NEMs.
- Conocimiento de la toxicidad de las nanopartículas incorporadas en fibras y textiles.

En opinión de los expertos consultados, España se encuentra bien posicionada tanto en lo que respecta a la capacidad científica y técnica como industrial respecto a los temas 1

y 3. Por el contrario, se considera que el posicionamiento del tema 2 está por debajo de la media, en particular en lo que respecta a su aplicación industrial, donde existe más discrepancia entre los expertos. Los tres temas identificados tienen un gran atractivo tanto en lo que respecta a las expectativas científico y técnicas como por su mercado potencial.

Se considera que los tres temas estarán aún en la etapa de prototipo o demostrador hasta 2010, que en el periodo 2010-2015 entrarán en la etapa de desarrollo industrial y que a partir de 2015 se comercializarán en los mercados. Respecto a la dependencia tecnológica, los expertos opinan que nuestro país estará en una situación de dependencia tecnológica respecto a los temas 1 y 2, hasta el año 2020, pudiendo pasar a partir de entonces a una situación de mix tecnológico. En el caso del tema 3 se considera que nuestro país podrá tener un papel más activo sobre el desarrollo de la tecnología y que podrá estar en el año 2010 en una situación de mix tecnológico, situación que se mantendrá hasta el año 2020, a partir del cual algunos expertos opinan que nuestro país podría alcanzar incluso una situación de dominio tecnológico nacional.

Los factores críticos más importantes identificados por los expertos para la materialización de los tres temas son, por orden de importancia, el desarrollo de conocimiento científico-técnico, el equipamiento e infraestructura y los mecanismos de difusión y transferencia de información. Con una menor frecuencia se identifican también como factores crí-

ticos en el tema 2 las regulaciones de salud pública y medioambiental y, en el caso del tema 3, la metrología y normalización.

Algunos indicadores del grado de cumplimiento de los temas propuestos son:

- Evolución del gasto en I+D+i en los temas propuestos.
- Evolución del número de publicaciones y patentes sobre los temas propuestos.
- Evolución del porcentaje de fibras y textiles que incorporen nanomaterias, nanoestructuras, nanorecubrimientos o usen procesos nanotecnológicos.
- Porcentaje de textiles técnicos producidos que incorporen nanotecnología respecto al total.
- Evolución del número de empresas que usen nanotecnología en la fabricación de fibras y textiles.

## Construcción

El sector de la construcción es un importante sector estratégico, tanto en España como en Europa, y emplea a más personas que cualquier otro sector industrial. En el año 2006, el sector de la construcción español tuvo una producción de más de 185.000 millones de euros, y empleó a más de 2.500.000 personas. La inversión en construcción supone el 17,8% del PIB y el 12,9% del empleo de nuestro país. El sector español de la construcción es actualmente el tercero de Europa, sólo por detrás de Alemania y Francia, y

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
4.	Nuevos materiales para la mejora del confort y la eficiencia energética: aislante/conductor térmico, eléctrico, magnético, acústico; ignífugo, hidrófobo, autolimpiable, etc.	3,94	2011 - 2015



supuso, en 2006, el 15,2% de la inversión en construcción en la UE-15. En el ámbito europeo, en 2003, este sector supuso una inversión de 910.000 millones de euros que representa el 10% del PIB de la UE-15, con 11,8 millones de operarios empleados directamente, que supone el 7% del conjunto total de la fuerza laboral y el 28% del empleo industrial.

Este sector tiene una serie de características estructurales que la distinguen de otros sectores, entre los que se pueden mencionar: la larga cadena del valor y el número de agentes que intervienen, el predominio de las pequeñas empresas, más del 97% son pymes con menos de 20 empleados, la elevada intensidad en mano de obra y su menor productividad, (30% menos que la industria manufacturera tradicional). Además, al menos el 15% de los costes de construcción se emplean en corregir errores en obra.

Por otro lado, este sector usa una gran cantidad de recursos y tiene un gran impacto sobre el medioambiente. Se calcula que consume alrededor del 40% de los recursos materiales, genera el 40% del total de los residuos, y produce el 35% de las emisiones de gases efecto invernadero.

El sector de la construcción se enfrenta al reto de mejorar su productividad, competitividad, sostenibilidad, seguridad y calidad. Uno de los objetivos del sector es su transformación en un sector basado en la sostenibilidad e innovación mediante la reingeniería del proceso constructivo, y la incorporación de nuevos materiales.

Las nanotecnologías ofrecen un gran potencial para dar lugar a innovaciones radicales en la fabricación, propiedades y uso de los materiales de construcción, permitiendo obtener materiales más ligeros, resistentes, de bajo impacto medio-

ambiental, con mejores prestaciones y durabilidad, autoadaptables e inteligentes.

Algunas líneas de investigación en marcha relacionados con el tema propuesto son:

- Reacciones a la nanoescala del sistema calcio-silice-agua.
- Nanoaditivación de cemento y otros aglomerantes hidráulicos:
  - Nanopartículas como  $\text{TiO}_2$  con capacidad fotocatalítica para obtener superficies con capacidad de descomposición de COV, autolimpiables y antimicrobianos.
  - Nanofibras y nanotubos de carbono como nanorefuerzo y obtención de materiales eléctricamente conductores para apantallamiento electromagnético.
  - Nanomateriales puzolánicos (nanosilice, nanoarcillas...).
  - Incorporación de nanosensores y NEMs ("smart aggregates") para obtener información y monitorizar el estado de las estructuras y la calidad del aire en el interior de los edificios.
- Materiales aislantes avanzados basados en sistemas nanoporosos como aerogeles, vidrios nanoporosos y paneles aislantes al vacío (VIP) de altas prestaciones.
- Vidrios especiales: protección al fuego, nanorecubrimientos multifuncionales, filtración selectiva de la radiación en función de la longitud de onda, vidrios fotocromáticos y electrocromáticos.
- Materiales autoreparables ("self-healing materials").
- Materiales inteligentes, activos-adaptativos que responden a estímulos como la temperatura, humedad, tensión, etc.

Los expertos opinan que el tema más relevante sobre el uso de las nanotecnologías en el sector de construcción es el tema 4.

Este tema responde a las siguientes demandas de la sociedad:

- Materiales de mayores prestaciones, más adaptables e inteligentes.
- Materiales más sostenibles con menor impacto medioambiental.
- Productos más fáciles de instalar, con menos rechazos, más durables y de menor mantenimiento.
- Reducción del consumo energético de los edificios.
- Incremento del confort y de la calidad del aire en el interior de edificios.

Su importancia queda de manifiesto si se considera que, en Europa, el 40% de la energía se consume en edificios para el calentamiento, enfriamiento, iluminación y otros servicios, y que los europeos pasan al menos el 90% de su tiempo en el interior de los edificios, cuya calidad del aire afecta al confort, calidad y productividad de sus habitantes.

Sin embargo, el coste de los nuevos materiales puede limitar su introducción para sustituir materiales tradicionales, aunque la disponibilidad de materiales de mejores prestaciones puede facilitar el cumplimiento de especificaciones más estrictas. Por otro lado, la incertidumbre sobre el posible efecto sobre la salud de algunas nanopartículas puede dar lugar a regulaciones sobre el uso y aplicación de los materiales que las contengan para garantizar la seguridad de instaladores y usuarios.

Algunas tecnologías y conocimientos críticos para la materialización del tema son:

- Conocimiento de la nanoestructura de materiales y la relación de las propiedades de la nanoescala con la microescala y la macroescala.

- Crecimiento de nanoestructuras por autoensamblado sobre superficies sólidas.
- Nanorecubrimientos y nanoaditivos para modificación de materiales de construcción.
- Materiales nanoporosos adaptables y activos para aislamiento térmico y acústico, adsorción de COV, regulación de humedad y temperatura, etc.
- Nanosensores, MEMS y NEMS.

De acuerdo con los expertos, nuestro país se encuentra bien posicionado respecto a este tema tanto en lo que respecta a su capacidad científico-técnica como de aplicación industrial. Asimismo, se considera que este tema tiene un gran atractivo tanto por las expectativas que despierta desde el punto de vista científico-técnico como por su mercado potencial.

Según los expertos, este tema se encontrará aún en la etapa de prototipo o demostrador hasta el año 2010, pasará a la etapa de desarrollo industrial en el periodo 2010-2015, y a la de comercialización a partir del 2015. Respecto a la situación de dominio o dependencia tecnológica, la opinión es que España estará en una situación de dependencia tecnológica exterior hasta el año 2010 y pasará a mix tecnológico a partir del año 2015.

Se han identificado como factores críticos importantes para el logro del tema 4 el desarrollo de conocimiento científico-técnico, el equipamiento e infraestructura y los mecanismos de difusión y transferencia de tecnología. Con menor frecuencia también se ha indicado como factor crítico la regulación de seguridad.

Algunos indicadores sobre el cumplimiento del tema propuesto son:

- Evolución del gasto en I+D+i en este tema.



- Evolución del número de publicaciones y patentes sobre el tema.
- Evolución del número de productos desarrollados con materiales relacionados con el tema.
- Evolución del número de empresas fabricantes de productos relacionados con el tema, y del porcentaje de contribución de estos productos a su facturación total.
- Coste de los materiales relacionados con el tema incorporados instalados en obra con relación al coste total.

## Cerámica

La industria de la cerámica comprende una variada serie de subsectores orientados a fabricaciones tan diversas como los azulejos y baldosas, los ladrillos y tejas, las cerámicas sanitarias y las de uso doméstico y ornamental, los refractarios y las cerámicas técnicas. La estructura productiva resultante suele agruparse en España en dos segmentos claramente diferenciados. Por una parte, las cerámicas estructurales y los revestimientos utilizados para la construcción (azulejos, baldosas, ladrillos, tejas y productos de tierras cocidas) y, por otra, las cerámicas sanitarias, técnicas y ornamentales.

El sector cerámico se encuentra muy vinculado con el sector de construcción y la actividad residencial pero, aunque su dimensión cuantitativa resulte mucho más modesta (7.800 millones de euros de producción y unos 55.000 personas empleadas), cabe señalar que el subsector español

de productos cerámicos para la construcción representa cerca del 2% de la producción industrial y de la exportación de mercancías, con la mitad de su producción destinada a los mercados exteriores en los que ejerce un claro protagonismo a nivel mundial y con los que alcanza un más que evidente superavit comercial.

Este sector, que en las últimas décadas ya ha experimentado una profunda transformación tecnológica, se caracteriza por la rápida asimilación de los avances tecnológicos que contribuyen a la mejora continua de los procesos de fabricación y de los productos, a fin de competir en los mercados de mayor valor añadido.

En el futuro, además de seguir compitiendo en calidad y diseño, el sector de productos cerámicos para la construcción deberá hacerlo mediante la diferenciación de producto, incorporando nuevas propiedades y funcionalidades y desarrollando nuevos conceptos para aplicaciones existentes y/o novedosas.

La incorporación de nanotecnologías (nanomateriales, nanosensores, células solares, etc.) a los productos cerámicos aporta, en teoría, una gran oportunidad para el desarrollo de nuevos conceptos y/o para innovaciones radicales de proceso y de producto.

En opinión de los expertos consultados el tema más importante para la aplicación de las nanotecnologías en el sector de las cerámicas es el *desarrollo de cerámicas con nuevas*

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
7.	Cerámicas con nuevas funciones: antideslizante, antirayado, nuevos efectos de diseño y textura, efectos térmicos, etc.	3,67	2014 - 2015

*funciones: antideslizante, antirayado, nuevos efectos de diseño y textura, efectos térmicos, etc. (tema 7).*

La adición de nanopartículas a las materias de base o a esmaltes y recubrimientos proporciona nuevas funcionalidades ópticas, químicas, mecánicas, térmicas, etc., que solas o combinadas representan un enorme potencial de explotación al conferir a los productos nuevas características de uso por sus:

- Elevadas características mecánicas, conductividad/aislamiento eléctrico, térmico, apantallamiento electromagnético, etc.
- Superficies autolimpiables, esterilizantes, antideslizantes, antirayado, luminiscentes, aislantes, etc.

A tenor de los resultados obtenidos, el grado de desarrollo de este tema estaría en la actualidad en la fase de prototipo o demostrador y pasaría a la fase de desarrollo industrial en el intervalo 2011-2015. A pesar de la elevada posición de España en cuanto a la capacidad científico-tecnológica y a la aplicabilidad industrial del tema, se dará una dependencia tecnológica del exterior hasta el 2015, sin que se pueda alcanzar la situación de mix tecnológico hasta fechas posteriores.

El tema posee un gran atractivo en el ámbito de la ciencia y tecnología, pero sobre todo por sus expectativas de explotación en los mercados. Para poder capitalizar los beneficios que la materialización de este tema proporcionaría,

en primer lugar resulta crítico para los expertos el desarrollo de conocimiento científico-tecnológico, seguido de la puesta en práctica de mecanismos de difusión y transferencia de tecnología. Con una menor frecuencia, también se señala la necesidad de equipamientos e infraestructuras adecuadas.

Algunos indicadores sobre el grado de cumplimiento del tema 7, son:

- Evolución del gasto en I+D+i en este tema.
- Evolución del número de publicaciones y patentes sobre el tema.
- Evolución del número de productos cerámicos con nuevas funciones basadas en nanotecnologías.
- Evolución del número de empresas fabricantes de productos relacionados con el tema, y del porcentaje de contribución de estos productos a su facturación total.

## Varios

En relación con el uso de las nanotecnologías en aplicaciones en otros sectores tradicionales, los expertos consultados opinan que el tema más relevante de los planteados es el tema 11.

El sector del envase es un sector en crecimiento, dinámico, competitivo e innovador que cuenta en España con 1.650 empresas, emplea a 55.000 trabajadores y factura más de 9.500 millones de euros.

Nº	TEMA	IGI	FECHA DE MATERIALIZACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL
11.	Nuevos envases inteligentes: con control de atmósfera interna, marcadores y sensores, liberación de conservantes, etc.	4,00	2011 – 2015



Existe un esfuerzo continuo para mejorar las características del envase requeridas para cumplir sus funciones de protección, conservación, y distribución del producto, así como de comunicación e interacción con el usuario.

Una de las líneas de innovación más activa es el desarrollo de nuevos envases activos, que actúan sobre el producto para conservarlo y preservar sus características, y de envases inteligentes, que informan al consumidor sobre su estado, permitiendo aumentar la vida útil del producto con una calidad y seguridad constante.

El uso de las nanotecnologías puede permitir el desarrollo de nuevos envases inteligentes multifuncionales, con mejores propiedades que permitan mantener o mejorar el alimento, conservarlo más tiempo, e informar al consumidor sobre su estado actual e historia.

Algunas líneas de investigación relacionadas con el tema son:

- Materiales nanocompuestos poliméricos con nanoarcillas, más ligeros y resistentes, con mayor resistencia térmica y con mejores propiedades barrera.
- Materiales nanocompuestos con polímeros biodegradables (PLA).
- Materiales poliméricos con permeabilidad a gases y vapor de agua adaptables en función de las condiciones ambientales.
- Recubrimientos antimicrobianos con nanopartículas (Ag, MgO, ZnO<sub>2</sub>).
- Materiales autoreparables.
- Nanoencapsulación de compuestos activos para sistemas de liberación controlada.
- Nanosensores para detección de contaminantes, compuestos relacionados con el deterioro de los alimentos y microorganismos patógenos.

- Etiquetas con tinta electrónica y tintas inteligentes que cambian de color por cambios en las condiciones ambientales (temperatura, luz, oxígeno, etc).

El tema pretende dar respuesta a las mayores exigencias de los consumidores respecto a los envases en términos de calidad, frescura de los alimentos y seguridad y, en concreto, permitirá:

- Disponer de envases con materiales más ligeros, resistentes, sostenibles y de menor impacto ambiental.
- Proteger el alimento y conservar su calidad y condiciones higiénicas de forma activa.
- Aumentar la vida útil del alimento envasado.
- Asegurar la trazabilidad del producto.
- Monitorizar las condiciones del alimento envasado durante el transporte y almacenamiento.
- Informar al consumidor de las condiciones higiénicas del alimento.
- Avisar en caso de contaminación bacteriana, deterioro del alimento, incumplimiento de las condiciones óptimas de conservación o rotura del envase.

Algunos problemas y obstáculos que pueden presentarse en relación al tema propuesto son:

- La seguridad de algunos nanomateriales que, por su pequeño tamaño, pueden tener una mayor movilidad en el material del envase y/o migrar del envase al alimento.
- Las regulaciones respecto a la migración total máxima permitida, que puede ser incompatibles con algunos sistemas activos e inteligentes.
- La posible percepción pública negativa de los nanomateriales, con el consiguiente rechazo del consumidor.

Tecnologías y conocimientos críticos para la consecución del tema son:

- Conocimiento sobre la toxicidad de nanopartículas y nanomateriales utilizables en envases.
- Procesos de obtención de nanocompuestos poliméricos escalables industrialmente.
- Procesos de obtención de nanopartículas funcionales y nanoencapsulamiento escalables industrialmente.
- Nanosensores para seguridad alimentaria.
- Electrónica impresa de bajo coste para la impresión (p. ej., por inkjet) en el envase o en una etiqueta inteligente.

En opinión de los expertos, España se encuentra en una buena posición respecto a la capacidad científico-técnica y a la aplicación industrial de este tema, que, además, presenta un gran atractivo tanto por su interés científico-técnico como por su mercado potencial.

Según los expertos, este tema estará en la etapa de prototipo o demostrador en el periodo 2007-2010, pasará a estar en desarrollo industrial en el periodo 2011-2015, y entrará en la etapa de comercialización a partir del 2015. Respecto al dominio tecnológico, los expertos opinan que nuestro país tendrá una situación de dependencia exterior hasta el año 2010, y que se alcanzará una situación de mix tecnológico a partir del 2015.

Los factores críticos identificados como más importantes para la materialización de este tema son el desarrollo de conocimiento científico y técnico, los mecanismos de difusión y transferencia de tecnología y la regulación de salud pública. Otros factores mencionados con menos frecuencia son el equipamiento y la infraestructura y la regulación de seguridad.

Algunos indicadores sobre el cumplimiento del tema propuesto son:

- Evolución del gasto en I+D+i en este tema.
- Evolución del número de publicaciones y patentes sobre el tema.
- Evolución del número de empresas fabricantes de envases inteligentes con nanotecnologías, y del porcentaje de contribución de estos envases a su facturación total.
- Evolución del porcentaje de envases inteligentes con nanotecnologías usados respecto al total del mercado de envases.

## Conclusión

Las nanotecnologías constituyen una oportunidad para obtener productos de alto valor añadido con nuevas y mejores características que mejoren la competitividad de las industrias de los sectores tradicionales y les permita acceder a nuevos nichos de mercado.

Para ello será necesario el desarrollo de procesos escalables industrialmente que permitan producir los nanomateriales de forma controlada, reproducible y a un coste razonable, en las cantidades requeridas por estos sectores.

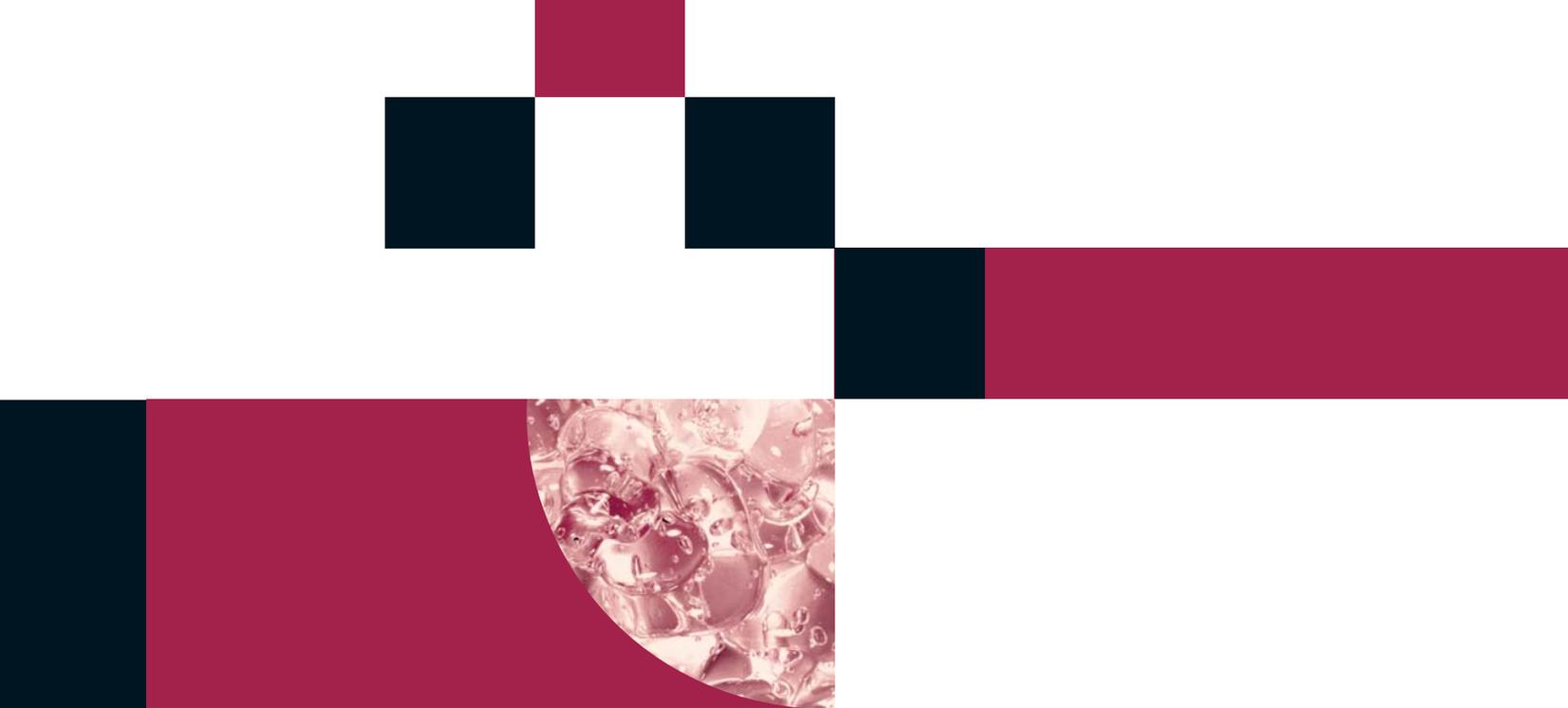
Un posible obstáculo para su uso generalizado puede ser una percepción pública negativa por el temor al posible efecto sobre la salud de los nanomateriales, y su rechazo por los consumidores, como el producido en el pasado por otras tecnologías (organismos genéticamente modificados). Para evitarlo, es necesario una evaluación de riesgos adecuada y una política de información, comunicación y educación sobre la realidad de las nanotecnologías y sus usos.



Es de indicar el bajo número de respuestas de expertos que consideran tener un conocimiento alto-medio de muchos de los temas señalados. Esto puede ser una indicación del escaso número de expertos seleccionados sobre los temas consultados y/o de la distancia existente entre los expertos consultados de los centros de investigación y universidades y los expertos de las industrias. Muchos científicos que trabajan en el campo de las nanociencias y nanotecnologías encuentran difícil precisar como puede aplicarse su trabajo en los sectores industriales tradicionales consultados, mientras que los expertos de las industrias desconocen en general las posibles aplicaciones concretas e implicaciones de la nanotecnología en su sector, a pesar de que estimen que las nanotecnologías son una fuente de cambio

potencial que puede tener un impacto importante en su sector.

Aunque, en general, entre las industrias de los sectores tradicionales existe la convicción de que las nanotecnologías afectarán de forma significativa a su negocio en el futuro, en muchos casos no parece estar claro como pueden aprovecharse sus productos de estas nueva tecnología. Por ello, es necesario establecer un diálogo y colaboración activos entre los expertos de las industrias, que planteen los problemas de su sector, y los expertos de las nanociencias y nanotecnologías, para hacer más efectivo y eficiente el proceso de innovación y la traducción de las posibilidades de las nanotecnologías en nuevos productos.



# Conclusiones Generales

La consideración de la nanotecnología como motor de la próxima revolución industrial o como tecnología estratégica para la futura economía mundial, responde a una percepción global de su enorme potencial y del alcance que poseen sus desarrollos para los retos actuales y futuros de la sociedad. Prueba de ello, el esfuerzo investigador mundial en este ámbito no deja de crecer exponencialmente en busca de ese dominio científico-tecnológico necesario para un correcto posicionamiento industrial y económico.

Las nanotecnologías engloban un vasto conjunto de conocimientos y tecnologías en rápida evolución que requieren de una aproximación sistemática pero, también, de una identificación tan precoz como sea posible de los nuevos

retos y tendencias, de las capacidades necesarias y de las disponibles, en fin, de los nuevos avances y de sus campos de aplicación potencial con interés para las expectativas del país.

El presente estudio de prospectiva tecnológica sobre las *“Aplicaciones Industriales de las Nanotecnologías en España en el Horizonte 2020”* fue formulado para interrogar a los expertos del país sobre las principales incógnitas de futuro en relación con la aplicación de las nanotecnologías en los siguientes ámbitos de conocimiento y sectores de actividad: (nano)tecnologías, transporte, energía y medio ambiente, TIC y electrónica, salud y biotecnologías, y sectores tradicionales (textil, construcción, cerámica y otros).



La consulta fue dirigida a un gran número de expertos pero, a pesar de la magnitud del colectivo (~500), algunos de los temas del estudio han obtenido un bajo número de respuestas, impidiendo que puedan ser considerados a efectos del análisis realizado, independientemente de que pueda tratarse de temas de mayor o menor interés.

Los resultados obtenidos proporcionan una visión de los intereses que, presumiblemente, guiarán los futuros desarrollos de las nanotecnologías en los ámbitos considerados. El análisis de estos resultados ha permitido definir un conjunto de cuarenta y dos temas relevantes que han sido tratados en detalle a lo largo de esta publicación, y sobre los que ya

se han formulado las conclusiones pertinentes en cada uno de los capítulos destinados a los sectores señalados. Nos remitimos a ellos ante la dificultad y, probablemente, la injusticia que podría suponer concluir en unas pocas frases sobre sectores tan diferentes y de tanta relevancia para las nanotecnologías y para nuestro tejido productivo en general.

En fin, la información generada podrá servir de base para desarrollar las estrategias de I+D+i y guiar las políticas de ciencia y tecnología, a fin de disponer de los conocimientos y capacidades necesarios para aprovechar oportunidades de actuación y nichos de mercado.

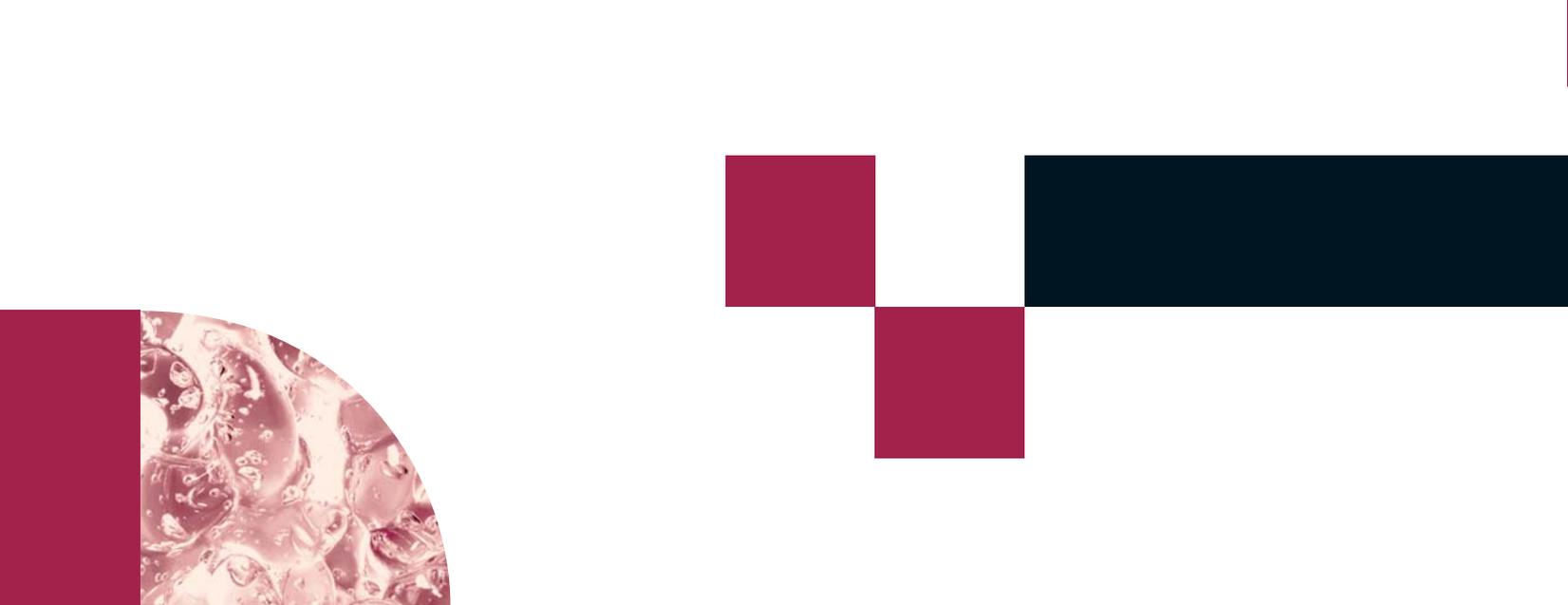
# Anexo I

## Panel de Expertos





<b>NOMBRE</b>	<b>ENTIDAD</b>
Cecilia Hernández	CDTI
Manuel Vazquez	Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid ICMM. CSIC
Pedro Serena	Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid ICMM. CSIC
Josep Samitier	Universitat de Barcelona, Dpt. d'Electrònica Institut de Bioenginyeria de Catalunya IBEC
Joan Ramón Morante	Universitat de Barcelona, Dpt. d'Electrònica Centre de Referència de Materials Avançats per a l'Energia de la Generalitat de Catalunya CERMAE
Fernando Briones	Instituto de Microelectrónica de Madrid – Centro Nacional de Microelectrónica IMM-CNM. CSIC
José Millan	Instituto de Microelectrónica de Barcelona – Centro Nacional de Microelectrónica IMB-CNM. CSIC
Isabel Obieta	INASMET-TECNALIA
César Merino	Grupo ANTOLÍN
Julio Santarén	TOLSA
Javier García	AENOR



## Anexo II Cuestionario con los resultados del estudio

El presente Anexo II muestra los cuestionarios con los resultados obtenidos en los diferentes ámbitos del estudio:

- (nano)Tecnologías.
- Aplicaciones de las Nanotecnologías en el Transporte.
- Aplicaciones de las Nanotecnologías en la Energía y el Medio Ambiente.
- Aplicaciones de las Nanotecnologías en las TIC y la Electrónica.
- Aplicaciones de las Nanotecnologías en la Salud y Biotecnología.
- Aplicaciones de las Nanotecnologías en Sectores Tradicionales.



NANOTECNOLOGÍAS	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)		Atractivo para España (moda 1 a 4)		Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)							
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrología - Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6
<b>EQUIPOS Y TECNICAS DE ANÁLISIS, CONTROL Y MEDIDA</b>																												
1. Sondas de barrido para el análisis, caracterización y medida a escala nanométrica	69	22	24	23	45	12	5	3,65	TE	DI	CM	CM	DE	DE	DE-MT	MT	2	1	4	2	30	36	1	1	0	11	23	
	46	22	24	0	39	6	0	3,87	TE	PD-DI-CM	CM	CM	DE	DE	MT	MT	2	1	4	3	24	31	0	1	0	10	18	
2. Técnicas de control y medida de nanopartículas	65	18	30	16	48	12	1	3,77	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	MT	3	1	3	3	27	34	7	6	5	10	19	
	49	18	30	0	40	8	0	3,83	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	MT	2-3	2	3-4	4	22	26	5	6	4	6	16	
3. Técnicas de microscopía tridimensional para células y otras (nano)estructuras blandas	46	7	5	33	23	7	3	3,61	TE-PD	DI	CM	CM	DE	DE	DE	DE-MT	2	1	3	2	23	18	3	2	0	3	6	
	13	7	5	0	11	1	0	3,92	TE-DI	DI-CM	CM	CM	DE	DE	DE	MT	3	1-2	3-4	2	9	6	2	1	0	1	3	
4. Técnicas de imagen a nivel molecular	44	6	15	23	25	7	3	3,63	PD	PD	DI	CM	DE	DE	MT	MT	2	1	3-4	2	26	25	2	0	0	2	6	
	21	6	15	0	16	5	0	3,76	TE-PD	PD	DI	CM	DE	DE-MT	MT	MT	3	1	3-4	2	18	15	1	0	0	0	5	
<b>EQUIPOS Y TECNICAS DE (NANO) FABRICACIÓN, MANIPULACIÓN E INTERGRACIÓN</b>																												
5. Técnicas litográficas (suministro molecular, indentación termomecánica, deposición local...)	46	11	11	24	23	8	3	3,59	PD	DI	CM	CM	DE	DE	DE	DE	2	2	4	4	22	31	0	0	0	1	13	
	22	11	11	0	16	5	0	3,76	PD	PD	DI-CM	CM	DE	DE	DE	DE	2	1-2	3-4	2	14	20	0	0	0	1	7	
6. Tecnologías de producción capaces de controlar dimensiones y formas con una precisión nanométrica	55	10	26	19	40	8	2	3,76	TE	PD	CM	CM	DE	DE	DE	MT	2	1	3	3	35	32	0	0	0	3	20	
	36	10	26	0	27	8	1	3,72	TE	PD-DI	PD-CM	CM	DE	DE	DE-MT	MT	2-3	1-2	3	3	25	25	0	0	0	2	14	
7. Tecnologías de funcionalización de superficies	50	19	21	10	43	2	2	3,87	PD	DI	CM	CM	DE	DE	MT	M	3	1	4	4	31	26	3	0	0	3	20	
	40	19	21	0	38	2	0	3,95	PD	DI	CM	CM	DE	DE	MT	MT	3	1	4	4	29	23	3	0	0	1	17	
8. Síntesis química de nanoestructuras, autoensamblado...	53	14	19	18	39	6	2	3,79	TE	PD	DI	CM	DE	DE	MT	MT	3	1	4	3	31	24	1	1	2	1	19	
	35	14	19	0	32	3	0	3,91	TE	PD	DI	CM	DE	DE-MT	MT	MT	3	1	4	3	24	19	1	0	1	1	12	
9. Nanomanipulación	47	10	17	20	27	12	1	3,65	TE	TE	PD	CM	DE	DE	MT	MT	2	1	4	2-4	26	30	0	0	1	2	8	
	27	10	17	0	17	10	0	3,63	TE	TE	PD	CM	DE	DE	MT	MT	3	1	4	2	17	21	0	0	1	1	6	
10. Integración heterogénea: nano-micro-macro, nuevas arquitecturas en la escala nano...	44	11	10	22	28	8	1	3,73	TE	PD	DI	CM	DE	DE	MT	MT	2	1	4	3	27	24	0	0	0	1	10	
	22	11	10	0	17	5	0	3,77	TE	PD	DI-CM	CM	SD	DE	MT	MT	2-3	1	4	3	14	15	0	0	0	1	7	

#### GRADO DE DESARROLLO

- TE:** Tecnología Emergente.
- PD:** Prototipo o Demostrador.
- DI:** Desarrollo Industrial.
- CM:** Comercialización en los Mercados.

#### DOMINIO/DEPENDENCIA

- SD:** Tecnología en desarrollo, sin dominio de ningún país concreto.
- DE:** Dependencia Exterior >75%.
- MT:** Mix Tecnológico Nacional (<25%/Ext (<75%).
- DN:** Dominio Tecnológico Nacional (>75%).

NANOTECNOLOGÍAS	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)				Atractivo para España (moda 1 a 4)				Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)						
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrología - Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología			
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6	7		
<b>(NANO)MATERIALES</b>																															
11. Producción de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos	51	16	16	17	35	9	0	3,80	PD	PD	CM	CM	DE	DE	MT	MT	3	2	3-4	3	23	16	8	4	4	2	17				
	34	16	16	0	29	4	0	3,88	PD	PD-DI	CM	CM	DE	DE	MT	MT	4	3	4	3	18	12	7	4	3	1	14				
12. Producción de nanopartículas poliméricas	44	11	10	22	23	11	1	3,63	TE-PD	PD-DI	CM	CM	DE	DE	MT	MT	3	1	4	3	21	14	2	2	2	2	10				
	22	11	10	0	16	5	0	3,76	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	MT	4	1	4	3	14	10	1	1	1	2	6				
13. Producción de nanoestructuras carbonosas	40	10	11	18	23	7	1	3,71	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	MT	3	1	4	3	15	17	5	4	2	1	10				
	22	10	11	0	17	4	0	3,81	PD	DI	CM	CM	DE	DE-MT	MT	MT	4	1	4	3-4	10	14	5	3	1	1	7				
14. Producción de nanosilicatos	38	9	4	24	17	8	2	3,56	TE	PD	CM	CM	DE	MT	MT	MT	2-3	2	3	3	11	9	3	1	2	1	10				
	14	9	4	0	10	3	0	3,77	PD	PD-CM	CM	CM	DE	MT	MT	MT	2-3	2	3	4	5	7	1	1	0	1	6				
15. Aleaciones metálicas nanoestructuradas	39	9	8	21	20	9	0	3,69	PD	PD	CM	CM	DE	MT	MT	MT	3	2	4	3	16	14	0	1	0	2	11				
	18	9	8	0	13	4	0	3,76	PD	PD	CM	CM	DE	MT	MT	DN	3	2	4	3	11	11	0	1	0	1	8				
16. Cerámicas nanoestructuradas	42	5	13	23	27	5	0	3,84	TE-PD	PD	CM	CM	DE	MT	MT	MT	3	3	4	4	16	15	1	0	0	1	11				
	19	5	13	0	15	3	0	3,83	PD	PD	DI-CM	CM	DE	MT	MT	MT	3	3	4	4	11	10	1	0	0	0	7				
17. Materiales orgánicos nanoestructurados con propiedades a medida	45	6	14	24	29	3	4	3,69	TE	PD	CM	CM	DE	DE	DE-MT	MT	3	1	3-4	4	25	18	1	1	0	0	9				
	21	6	14	0	20	0	0	4,00	TE-PD	PD	DI-CM	CM	SD	DE	MT	MT	3	1	3-4	4	17	14	0	1	0	0	6				
18. Recubrimientos base carbono (DLC, nanocarbonitruros...)	41	8	12	20	18	11	2	3,52	TE-PD	PD	CM	CM	DE	DE	MT	MT	2	1-2	3	3	13	16	0	0	1	0	12				
	21	8	12	0	13	7	0	3,65	PD	PD-DI	CM	CM	DE	MT	MT	MT	3	1-2	3-4	3	8	11	0	0	1	0	10				
19- Recubrimientos de óxidos metálicos	41	8	10	22	16	11	3	3,43	PD	PD-CM	CM	CM	DE	DE	MT	MT	3	2	3	3-4	15	16	0	2	0	1	9				
	19	8	10	0	12	6	0	3,67	PD	CM	CM	CM	DE	DE-MT	MT	DN	3	2	4	4	9	11	0	1	0	1	7				
20- Otros recubrimientos	37	7	8	21	14	9	4	3,37	TE-PD	DI	CM	CM	DE	DE	DE	MT	2	1	4	3	13	13	0	0	0	1	11				
	16	7	8	0	12	3	0	3,80	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	MT	3	1-3	4	4	8	10	0	0	0	1	8				
21- Materiales biomiméticos y bioinspirados	41	9	10	21	27	4	2	3,84	TE	TE	PD	CM	SD	DE	DE	MT	3	1	4	4	24	13	2	0	0	1	6				
	20	9	10	0	16	3	0	3,76	TE	TE	PD	DI	SD	DE	DE	MT	3	1	4	4	16	12	0	0	0	1	2				
22. Materiales (nano)porosos: Zeolitas, mesoporosos, membranas...	43	6	19	17	22	8	3	3,58	PD	DI	CM	CM	DE	DE	MT	MT	3	3	3	3-4	20	11	0	0	0	3	16				
	26	6	19	0	20	5	0	3,80	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	DN	3	3	3	4	15	10	0	0	0	3	13				
23. Nanocomposites de matriz metálica	36	4	6	25	9	13	2	3,29	PD	PD	CM	CM	SD	DE	DE	DE-MT	2	1	3	3	16	11	0	0	0	1	9				
	11	4	6	0	6	4	0	3,60	PD	PD	DI-CM	CM	SD	DE	MT-DN	DN	2-3	1	3-4	4	8	7	0	0	0	0	4				
24. Nanocomposites de matriz cerámica	39	3	9	26	11	15	0	3,42	TE	PD	DI	CM	DE	DE	DE	MT	3	2	4	3	15	10	0	0	0	1	11				
	13	3	9	0	6	6	0	3,50	TE-PD	PD	DI	CM	DE	DE	MT	MT	3	1	4	3	7	6	0	0	0	0	6				
25. Nanocomposites de matriz orgánica	42	13	8	20	23	8	2	3,64	TE	PD	CM	CM	DE	DE	MT	MT	3	1-2	4	4	19	15	0	1	0	4	13				
	22	13	8	0	16	5	0	3,76	PD	PD	CM	CM	DE	MT	MT	MT	2-3	1	4	4	12	11	0	1	0	4	9				



NANOTECNOLOGÍAS	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)				Atractivo para España (moda 1 a 4)				Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)						
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrología -Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología			
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6	7		
<b>(NANO)DISPOSITIVOS</b>																															
26. Dispostivos moleculares	41	7	10	24	17	11	4	3,41	TE	PD	DI	DI	SD	DE	DE-MT	DE-MT	3	1	3	4	22	21	0	1	0	0	9				
	17	7	10	0	13	4	0	3,76	TE	TE-PD	DI	DI-CM	SD-DE	DE	MT	DE-DN	3	1	3-4	4	13	11	0	1	0	0	5				
27. Nanosensores y NEMS	52	10	25	17	34	10	3	3,66	TE	PD	CM	CM	DE	DE	DE	DE	3	1	4	3	28	25	0	2	0	2	18				
	35	10	25	0	29	6	0	3,83	TE-PD	PD-DI	CM	CM	DE	DE	MT	DE-MT	3	1	3-4	3-4	21	20	0	2	0	2	15				
28. Nanorobots, Nanomáquinas	34	3	7	24	10	7	7	3,13	TE	TE	PD	PD	SD	SD	DE	DE	1	1	4	4	16	11	1	0	0	1	6				
	10	3	7	0	7	1	2	3,50	TE-PD	TE-DI	CM	CM	SD	SD	DE	DE	2	1	4	4	7	5	0	0	0	1	2				
29. Nanofotónica	42	7	13	22	23	8	2	3,64	TE	PD	DI	CM	SD-DE	DE	DE	DE	3	1	4	4	22	17	0	0	0	0	14				
	20	7	13	0	16	3	1	3,75	TE-PD	PD	DI	CM	DE	DE	DE-MT	DE-MT	3	1	4	4	13	13	0	0	0	0	11				
30. Nanomagnetismo	41	10	10	21	25	7	1	3,73	PD	DI	CM	CM	DE	DE-MT	MT	MT	3	2	4	4	22	15	0	2	0	1	14				
	20	10	10	0	16	4	0	3,80	TE-PD-DI	DI	CM	CM	MT	MT	MT	MT	3	2	4	4	13	12	0	0	0	0	10				
31. Spintrónica	39	3	11	25	15	8	5	3,36	TE	TE	PD-DI	CM	SD	SD	DE	DE-MT	3	1	3	3	16	19	0	0	1	0	7				
	14	3	11	0	7	6	0	3,54	TE	PD	DI	CM	DE	MT	MT	MT	2-3	1	3	3	10	11	0	0	0	0	4				
<b>REGULACIÓN</b>																															
32. Tecnologías y técnicas de valoración del riesgo en la salud y en el medio ambiente	36	3	11	20	23	3	2	3,75	TE	PD	CM	CM	SD	DE	DE	DE	2	1	4	4	13	3	13	5	7	1	5				
	16	3	11	0	16	0	0	4,00	TE	PD	DI-CM	CM	SD	DE	DE	DE	2	1	4	4	7	3	7	4	4	1	5				
<b>MORMALIZACIÓN</b>																															
33. Control, normalización y certificación de emisiones	29	0	4	24	9	9	1	3,42	TE	PD	CM	CM	SD	DE	DE	DE	2	1	4	4	6	3	3	3	4	6	5				
	5	0	4	0	3	1	0	3,75	TE	PD	DI	CM	SD	MT	MT	DN	1-3	1	3	4	2	1	0	1	1	3	2				
34- Desarrollo de materiales de referencia para la normalización de las medidas de propiedades	31	0	6	24	9	10	2	3,33	TE	TE	PD	DI	SD	DE	DE	DE	2	1	3	2	7	7	0	0	0	9	6				
	7	0	6	0	4	2	0	3,67	TE	PD	DI	DI	SD-DE	SD-DE-MT	SD-DE-MT	DE-MT-DN	1-4	1-2	3	2	1	3	0	0	0	3	3				
35- Desarrollo de métodos estandarizados para la evaluación de propiedades físicas, químicas, y funcionales	33	3	14	15	13	11	2	3,42	TE	TE	PD	CM	SD	DE	MT	MT	1-2-3	2	3	2	14	8	0	1	2	13	9				
	18	3	14	0	11	5	0	3,69	TE	PD	DI-CM	CM	DE	MT	MT	MT	1-2-3	2	3	2	9	6	0	0	0	10	6				
36. Nanometrología	32	4	10	17	13	10	2	3,44	TE	PD-DI	CM	CM	DE	DE	DE-MT	DE	3	1	4	3	11	11	1	2	0	9	5				
	15	4	10	0	11	3	0	3,79	TE-PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	DE-DN	3	1	4	3	7	9	1	1	0	6	4				
37. Desarrollo de guías de manipulación para las operaciones con nanomateriales	34	3	6	24	14	8	3	3,44	TE	PD	DI-CM	CM	SD	DE	DE	DE	2	1	3	3	10	7	3	9	2	7	4				
	10	3	6	0	7	1	1	3,67	TE	PD	DI-CM	CM	DE	DE	DE	DE	2	1	3	3	5	5	2	4	0	2	2				

TRANSPORTE	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)				Atractivo para España (moda 1 a 4)				Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)						
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrología -Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología			
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6	7		
<b>APLICACIONES ESTRUCTURALES</b>																															
1. Aligeramiento	19	21	47	32	82	18	0	3,82	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	MT	2	3	2	3-4	36	24	0	4	0	4	32				
	13	31	69	0	92	8	0	3,92	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	MT	2	3	4	4	43	19	0	5	0	5	29				
2. Absorción de energía: choque, acústica, térmica, barreras térmicas	14	14	21	64	58	33	8	3,50	TE	PD-DI	DI-CM	CM	DE	DE-MT	DE-DN	MT-DN	2	2	2	3	44	13	0	6	0	0	38				
	5	40	60	0	40	40	20	3,20	TE-PD	DI	DI-CM	CM	DE	MT	DN	DN	3	2	3	3	38	25	0	13	0	0	25				
3. Materiales para condiciones extremas	16	25	31	44	50	43	7	3,43	TE	PD	DI-CM	CM	SD	DE	DE	DE-DN	3	2	2-3	2	33	29	0	0	5	0	33				
	9	44	56	0	44	56	0	3,44	TE	PD	DI	CM	SD	DE	DE-MT	DN	3	2	3	2-3-4	35	35	0	0	0	0	29				
4. Materiales compuestos, neumáticos...	15	13	40	47	62	23	15	3,46	PD	CM	CM	CM	DE	MT	MT-DN	DN	3	3	3	3	29	29	0	0	11	5	29				
	8	25	75	0	75	25	0	3,75	PD	CM	CM	CM	DE	MT	MT	MT-DN	3	3	3	3	38	25	0	0	0	6	31				
<b>SUPERFICIES (MULTI)FUNCIONALES</b>																															
5. Rozamiento "cero"	15	20	13	67	54	31	15	3,38	TE	PD	DI	CM	DE	DE	MT	MT	2-3	3	3	3-4	40	20	0	0	0	0	40				
	5	60	40	0	60	40	0	3,60	PD	DI	DI	CM	DE	DE	MT	DN	3	2	3-4	4	33	22	0	0	0	0	44				
6. Dureza, resistencia a la abrasión, corrosión	16	33	13	53	71	29	0	3,71	PD	DI-CM	CM	CM	MT	MT	MT	MT	3	3	3	3	30	30	0	0	0	0	39				
	8	71	29	0	75	25	0	3,75	PD-DI	DI	CM	CM	MT	MT	MT	MT	3	3	3-4	3-4	33	33	0	0	0	0	33				
7. Superficies adherentes, autolimpiables, electrocromáticas, óptica, conductores...	17	12	41	47	53	40	7	3,47	TE	PD-DI	CM	CM	DE	DE	MT	MT	2-3	2	3-4	4	28	28	0	0	0	4	40				
	9	22	78	0	44	44	11	3,33	TE-PD	DI	CM	CM	DE	DE	MT	MT	2-3	2	3-4	4	29	29	0	0	0	6	35				
<b>PROPULSIÓN</b>																															
8. Pilas de Combustible	15	21	50	29	100	0	0	4,00	PD	DI	DI	CM	DE	DE	MT	MT	2	3	4	3	32	27	0	0	5	0	36				
	11	30	70	0	100	0	0	4,00	PD	DI	DI	CM	DE	DE-MT	MT	MT	2-3	3	4	3	30	30	0	0	5	0	35				
9. Baterías (ion-litio mas supercondensador)	11	9	36	55	44	44	11	3,33	TE	PD	DI	CM	DE	DE	DE	DE	1-2	2	3	3	40	13	0	0	7	0	40				
	5	20	80	0	40	40	20	3,20	TE	PD	DI	CM	DE	DE-MT	MT	MT	1-3	1	3	3	33	22	0	0	0	0	44				
10. Catalizador de escape	12	17	50	33	40	60	0	3,40	DI	CM	CM	CM	DE	DE	DE	DE	2	2	2	3	12	24	6	0	42	0	29				
	8	25	75	0	38	63	0	3,38	DI	CM	CM	CM	DE	DE	DE	DE-MT	2	2	2	2-3	7	20	7	0	50	0	33				
11. Materiales para altas temperaturas	16	25	38	38	50	50	0	3,50	TE	DI	CM	CM	SD	DE-MT	MT	DN	2	3	3	3	30	26	0	0	5	4	35				
	10	40	60	0	40	60	0	3,40	PD	DI	CM	CM	SD	MT	MT	DN	2	1-3	3	3	26	26	0	0	6	5	37				
<b>EQUIPO DE INTERIOR</b>																															
12. Confort	11	9	27	64	44	56	0	3,44	TE	TE-PD	DI-CM	CM	SD-DE	MT	DN	DN	1-2-3	3	3	3	23	38	8	15	0	0	15				
	4	25	75	0	25	75	0	3,25	TE-PD	TE-PD-DI-CM	DI-CM	DI-CM	DE	MT	DN	DN	3	3	3	3	29	43	0	14	0	0	14				
13. Protección	15	7	50	43	69	31	0	3,69	TE	TE-PD-DI-CM	CM	CM	DE	DE	DE	DE	3	3	3	3	20	30	5	25	5	5	10				
	9	13	88	0	78	22	0	3,78	TE-PD	DI	CM	CM	SD	DE	DE	DE	2-3	2	3	3	27	40	0	20	7	0	7				



TRANSPORTE	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)		Atractivo para España (moda 1 a 4)		Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)							
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrología -Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6
<b>VARIOS</b>																												
14. Sensores y actuadores	16	25	50	25	64	36	0	3,64	TE	DI	CM	CM	DE	DE-MT	MT	DN	3	2-3	3-4	4	30	35	0	0	0	4	30	
	12	33	67	0	75	25	0	3,75	TE	DI	CM	CM	DE	DE-MT	MT	DN	3	2-3	3-4	4	30	35	0	0	0	4	30	
15. Antenas para comunicación	11	9	18	73	44	56	0	3,44	DI	CM	CM	CM	DE	DE-MT	DE-DN	DE-DN	2	2-4	3	3-4	10	20	10	0	0	20	40	
	3	33	67	0	67	33	0	3,67	TE-PD-DI	PD-DI-CM	CM	CM	SD-DE	SD-DE-MT	DE-MT-DN	DE-MT-DN	2	4	2-3-4	2-3-4	17	17	0	0	0	17	50	
16. Herramientas de corte...	13	38	8	54	27	36	36	2,91	PD	DI-CM	CM	CM	DE	MT	MT	MT-DN	3	2	3	2-3-4	31	31	0	0	0	0	38	
	6	83	17	0	50	50	0	3,50	PD	DI-CM	CM	CM	DE	MT	MT	DN	3	2	3	2-3-4	33	33	0	0	0	0	33	

ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)		Atractivo para España (moda 1 a 4)		Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)							
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrología -Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6
<b>ENERGÍAS RENOVABLES</b>																												
1. Solar Fotovoltaica y fotoquímica	18	25	50	25	88	6	6	3,82	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	DN	3	3	4	4	29	29	0	0	14	4	25	
	14	33	67	0	93	0	7	3,86	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	MT-DN	3	3	4	4	29	29	0	0	13	4	25	
2. Solar Termoelectrica	10	11	33	56	60	30	10	3,50	PD	DI	CM	CM	SD-DE-MT	DE	MT	DN	2	3	3-4	4	15	23	0	0	15	0	46	
	5	25	75	0	100	0	0	4,00	PD	DI	CM	CM	MT	MT-DN	MT-DN	MT-DN	4	3	4	4	0	43	0	0	0	0	57	
3. Energía eólica	12	17	25	58	58	25	17	3,42	CM	VM	CM	CM	MT	DN	DN	DN	4	3	4	4	12	24	0	6	24	0	35	
	5	40	60	0	80	20	0	3,80	TE	CM	CM	CM	MT	MT-DN	DN	DN	1-4	3	4	4	22	33	0	0	0	0	44	
4. Biocombustibles	13	0	46	54	92	0	8	3,83	PD	PD-DI-CM	CM	CM	MT	MT	MT	MT-DN	2	3	4	4	19	31	0	0	19	6	25	
	6	0	100	0	100	0	0	4,00	TE-PD	PD	CM	CM	MT	MT	MT	MT	2	3	4	4	10	40	0	0	10	0	40	
<b>H2 Y PC</b>																												
5. Electrodo	12	0	33	67	55	45	0	3,55	TE-DI	PD-CM	DI-CM	CM	SD	DE	DE	DE	2	2	2	3	38	15	0	0	8	8	31	
	4	0	100	0	25	75	0	3,25	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	4	60	0	0	0	0	20	20	
6. Catalizadores	16	19	25	56	73	27	0	3,73	PD-DI	CM	CM	CM	DE	DE-MT	DE	DE	3	2	3	4	39	22	0	0	6	0	33	
	7	43	57	0	86	14	0	3,86	PD-DI	CM	CM	CM	DE	DE-MT	DE-MT	DE-DN	3	3	3	4	44	22	0	0	0	0	33	
7. Membranas...	13	8	15	77	75	25	0	3,75	TE-PD	CM	CM	CM	DE	DE-MT	DE	DE	2	2	3	3	40	20	0	0	13	0	27	
	3	33	67	0	67	33	0	3,67	-	-	-	CM	DE	MT	DN	DN	-	-	-	-	67	0	0	0	33	0	0	
<b>ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE ENERGÍA</b>																												
8. Almacenamiento de H2:	14	14	29	57	92	8	0	3,92	TE	PD	DI	CM	SD	DE	MT	DE	2	2	3	4	37	37	0	5	0	0	21	
	6	33	67	0	83	17	0	3,83	TE	TE-PD	PD-DI	CM	SD	DE	DE-MT	DE-DN	2	2	3	4	44	33	0	11	0	0	11	
9. Baterías (electrodos, electrolitos)	12	8	33	58	73	27	0	3,73	DI	DI-CM	CM	CM	DE	MT	MT-DN	DE-MT-DN	2	2	3	3	31	23	0	0	15	0	31	
	5	20	80	0	60	40	0	3,60	DI	DI-CM	CM	CM	DE	MT	DN	DN	2	2	3	3	44	22	0	0	11	0	22	
10. Supercondensadores...	12	0	33	67	55	45	0	3,55	PD	PD	DI	CM	DE	DE	DE	DE	1-2-3	2	3	3	30	10	0	0	0	10	50	
	4	0	100	0	75	25	0	3,75	TE-PD	PD	DI	CM	SD-DE	DE	DE	DE-DN	3	1-2	3	3	20	20	0	0	0	0	60	
<b>EFICIENCIA</b>																												
11. Nuevos sistemas de iluminación	13	8	8	85	50	42	8	3,42	TE	PD-DI-CM	CM	CM	DE	DE	DE	DE	1	2	2	3	43	21	0	0	7	7	21	
	2	50	50	0	100	0	0	4,00	-	-	-	CM	-	-	-	-	1	1-4	1-4	1-4	50	25	0	0	0	25	0	
12. Aislamiento, ventanas inteligentes	12	8	25	67	45	55	0	3,45	TE	PD	CM	CM	SD-DE	DE	DE	DE	1	2	2	2-3-4	36	29	0	0	14	0	21	
	4	25	75	0	75	25	0	3,75	TE	PD	DI	CM	SD	DE	MT	-	-	-	-	4	33	50	0	0	0	0	17	
13. Catalizadores de altas prestaciones...	11	0	36	64	70	30	0	3,70	TE-PD	CM	CM	CM	DE	DE	DE	DE	2-3	1-3	3	2	50	10	0	0	20	0	20	
	4	0	100	0	75	25	0	3,75	-	CM	CM	CM	DE	DE	DE	DE	-	-	-	2	50	25	0	0	0	0	25	



ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)		Atractivo para España (moda 1 a 4)		Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)							
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrología -Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología
		1	2	3	1	2	3			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2							
<b>MEDIO AMBIENTE</b>																												
14- Secuestro de CO <sub>2</sub>	10	10	20	70	78	22	0	3,78	TE	PD	PD	DI	SD	DE	DE	DE-MT	1	1-2	3	3	33	22	0	0	11	11	22	
	3	33	67	0	100	0	0	4,00	TE	PD	PD-DI	CM	-	DE	DE	MT	3	-	3	-	20	20	0	0	20	20	20	
15. Reutilización y reciclado	10	0	50	50	78	11	11	3,67	TE-DI	DI	CM	CM	DE-MT	MT-DN	MT-DN	MT-DN	2-3	3	3	4	18	9	18	0	27	9	18	
	5	0	100	0	80	0	20	3,60	TE	DI	DI-CM	CM	-	MT-DN	MT-DN	MT-DN	2	-	3	4	29	14	0	0	14	14	29	
16. Descontaminación, remediación	13	8	46	46	100	0	0	4,00	TE	CM	CM	CM	DE	DE	DE-MT	DE-MT	2-3	2	3	4	20	20	7	7	20	7	20	
	7	14	86	0	100	0	0	4,00	TE-DI	CM	CM	CM	SD-DE	DE	DE-MT	DE-MT	3	2	3	4	22	22	0	0	11	11	33	
17. Sensores, biosensores...	17	29	41	29	94	6	0	3,94	PD	CM	CM	CM	SD	DE	MT	MT	2	2-3	3	4	40	15	5	0	5	0	35	
	12	42	58	0	92	8	0	3,92	TE-PD-DI	CM	CM	CM	SD	DE	MT	MT-DN	2-3	3	3	4	39	17	6	0	6	0	33	
18. Tratamiento de aguas...	14	21	7	71	69	31	0	3,69	TE	CM	CM	CM	SD-MT	DE	MT	MT	2	2	3	4	21	29	0	0	29	0	21	
	4	75	25	0	100	0	0	4,00	TE	PD	CM	CM	SD-DI	DE-MT	MT	MT	2	2-3	3	4	25	38	0	0	13	0	25	

TIC's - ELECTRÓNICA	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)		Atractivo para España (moda 1 a 4)		Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)							
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrología -Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6
<b>ELECTRÓNICA POST-CMOS</b>																												
1. Computación cuántica	18	11	28	61	40	47	13	3,27	TE	TE	TE	DI	SD	SD	SD	SD-MT	2	1	4	3	52	30	0	0	0	0	19	
	7	29	71	0	0	83	17	2,83	TE	TE	TE	DI	SD	SD	SD	SD-MT	2	1	4	1-3	58	17	0	0	0	0	25	
2. Spintrónica,	17	6	59	35	57	43	0	3,57	TE	TE	PD	DI-CM	SD	DE	DE	DE	2	1	2	2-3	42	29	0	0	0	0	29	
	11	9	91	0	50	50	0	3,50	TE	TE	PD	DI	SD	SD-DE	DE-MT	DE-MT	2	1	4	3	42	26	0	0	0	0	32	
3. Optoelectrónica	20	20	70	10	89	11	0	3,89	PD	CM	CM	CM	DE	DE	DE	MT	3	1-2	4	4	33	39	0	0	0	3	25	
	18	22	78	0	89	11	0	3,89	PD	CM	CM	CM	DE	DE	DE	MT	3	1-2	4	4	33	39	0	0	0	3	25	
4. Fotónica...	18	22	50	28	94	6	0	3,94	TE	PD-DI	CM	CM	SD-DE	DE	DE	DE	3	1	4	4	32	43	0	0	0	4	21	
	13	31	69	0	92	8	0	3,92	TE	PD-DI	DI	CM	SD-DE	DE	DE	DE	3	1	4	4	33	42	0	0	0	4	21	
5- (nano)materiales para SoC System on Chip y SIP System in Package (diseño y producto)	15	0	47	53	83	17	0	3,83	TE	PD	CM	CM	DE	DE	DE	DE-MT	2	1	4	4	38	33	0	0	0	0	29	
	7	0	100	0	100	0	0	4,00	DI	CM	CM	CM	DE	DE	DE	DE	2	2	4	4	31	31	0	0	0	0	38	
6. Materiales nanoestructurados para condensadores dieléctricos	15	13	53	33	62	31	8	3,54	TE	PD	CM	CM	DE	DE	DE	MT	2	2	4	4	40	36	0	0	0	4	20	
	10	20	80	0	70	30	0	3,70	PD	PD-DI	CM	CM	DE	DE	DE	MT	2	2	4	4	37	42	0	0	0	5	16	
7. Litografía óptica (nodos CMOS 45 – 32 nm), EUV, ML2 (MaskLess Lit.)	14	21	29	50	92	8	0	3,92	PD	DI	CM	CM	DE	DE	DE	DE	2	1	3	1	16	47	0	0	0	0	37	
	7	43	57	0	86	14	0	3,86	PD	DI	CM	CM	DE	DE	DE	DE	2	1	3	1	11	56	0	0	0	0	33	
8. Nano-impresión	14	36	29	36	69	23	8	3,62	TE	PD-DI	CM	CM	DE	DE-MT	MT	MT	2-3	2	3-4	4	29	38	0	5	5	0	24	
	9	56	44	0	56	33	11	3,44	TE	DI	CM	CM	DE	MT	DE-MT	DE-MT	2	2	3	2	31	44	0	6	6	0	13	
9. Metrología	14	21	14	64	55	45	0	3,55	TE	DI	CM	CM	DE	DE	DE	DE	3	1	3	3	26	32	0	0	0	16	26	
	5	60	40	0	100	0	0	4,00	TE-PD	DI	CM	CM	SD	DE	DE	DE-MT	3	1	3	3-4	22	56	0	0	0	0	22	
<b>DIAPPOSITIVOS (TRANSISTORES Y MEMORIA)</b>																												
10. Transistores: transistor fotónico de silicio, transistor de nanohilo metálico, moleculares	15	27	47	27	69	23	8	3,62	TE	TE	PD	PD-DI	SD	DE	DE	DE	3	1	3	2	39	39	0	0	0	0	22	
	11	36	64	0	73	27	0	3,73	TE	TE	PD	PD	SD	DE	DE	DE	2-3	1	3	2	42	37	0	0	0	0	21	
11. Materiales de interconexión: nanotubos	15	33	33	33	54	38	8	3,46	TE	TE	PD	DI	SD	SD-DE	DE	DE-MT	2	1	3	4	43	39	0	0	0	0	17	
	10	50	50	0	50	40	10	3,40	TE	TE	PD	DI-CM	SD	DE	DE	DE-MT	2	1	3	1-4	47	35	0	0	0	0	18	
12. Canales: nanohilos de silicio y moleculares	14	21	36	43	64	36	0	3,64	TE	TE	PD	DI	SD	DE	DE	DE	3	1	3	2-3-4	37	37	0	0	0	0	26	
	8	38	63	0	63	38	0	3,63	TE	TE	PD	DI-CM	SD	DE	DE	DE-MT	3	1	3-4	3-4	40	33	0	0	0	0	27	
13. Nanoelectrónica biomolecular	15	13	40	47	42	50	8	3,33	TE	TE	PD	DI	SD	SD	DE	DE	3	1	4	2	43	33	0	0	0	0	24	
	8	25	75	0	38	50	13	3,25	TE	TE-PD	TE-PD	DI	SD	SD-DE	DE	DE-MT	3	1	3	2	40	27	0	0	0	0	33	



TIC's - ELECTRÓNICA	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)				Atractivo para España (moda 1 a 4)				Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)						
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrología -Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología				
		1	2	3	1	2	3		4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	3	4	5	6	7					
<b>SUMINISTRO DE ENERGÍA</b>																															
14. Microgeneración local y almacenamiento mediante minicélulas, baterías, colectores	12	0	42	58	88	13	0	3,88	TE	TE-DI	TE-DI-CM	CM	SD	DE	DE	DE	DE	3	1	3	3	42	33	0	0	0	0	25			
	5	0	100	0	100	0	0	4,00	TE-PD	TE-DI	-	CM	SD	SD-DE	DE	DE	DE	3	1	3-4	-	33	33	0	0	0	0	33			
<b>INTEGRACIÓN MEDIANTE SISTEMA MULTIBANDA Y MULTINODO</b>																															
15. Sistemas de localización, WIFI, GSM	12	8	17	75	100	0	0	4,00	DI	CM	CM	CM	DE	DE	DE	DE	DE	2	2	4	4	11	44	0	0	0	11	33			
	3	33	67	0	100	0	0	4,00	DI	CM	CM	CM	DE	DE	-	-	-	2	2	4	4	0	67	0	0	0	0	33			
16. Redes de interconectividad tele-configurables con elementos "smart dust"	11	0	9	91	50	50	0	3,50	TE	TE	TE-CM	CM	SD-DE	SD-DE	DE	DE	DE	2	2	2-3	3	25	38	0	0	0	13	25			
	1	0	100	0	0	100	0	3,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
<b>CONECTIVIDAD (CON SISTEMAS NO ELÉCTRICOS) MEDIANTE SENSORES Y ACTUADORES</b>																															
17. Aplicaciones artificiales y sensoriales con propiedades similares a las naturales/humanas: visión, aprendizaje de movimientos, coordinación motora, para incorporarlo en el espacio neural	14	0	7	93	50	40	10	3,40	TE	TE-PD	PD	CM	SD	DE	DE	DE	DE-MT	2-3	1	3	3-4	36	9	9	0	0	9	36			
	1	0	100	0	100	0	0	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	50	0	0	0	50			
18. Sistemas de audio, monitorización avanzada de neumáticos, sistemas de navegación personales, detección de obstáculos y distancias, imágenes tridimensionales con ultrasonido	12	0	33	67	75	25	0	3,75	TE	CM	CM	CM	DE	DE	DE	DE	DE	2	2	3	3	30	10	0	0	0	10	50			
	4	0	100	0	100	0	0	4,00	-	CM	CM	CM	-	DE	DE	DE	DE	2	2	3	3	20	20	0	0	0	20	40			
<b>INTERFACES AUDIOVISUALES, TÁCTILES..., PROTECCIÓN DE DATOS</b>																															
19. Sistemas MEMS y NEMS, nanohilos y nanotubos en sensores y actuadores para interfaces audiovisuales, pantallas táctiles	17	35	41	24	67	33	0	3,67	TE-PD	DI	CM	CM	SD	DE	DE	DE	DE	2	1	3-4	4	29	43	0	0	0	0	29			
	13	46	54	0	69	31	0	3,69	TE-PD	DI	CM	CM	SD	DE	DE	DE	DE	2-3	1	3	4	28	40	0	0	0	0	32			
20- Láser de puntos cuánticos, cristales fotónicos... para pantallas OLED	18	11	44	44	69	31	0	3,69	TE	PD	CM	CM	SD-DE	DE	DE	DE	MT	2	2	3	4	38	42	0	0	0	0	21			
	10	20	80	0	70	30	0	3,70	TE	PD	CM	CM	DE	DE	DE	DE-MT	3	1	3	4	44	39	0	0	0	0	17				
21. Papel electrónico	17	6	18	76	77	8	15	3,62	TE	DI	CM	CM	DE	DE	DE	DE	DE	2	1	3	4	43	33	0	0	0	0	24			
	4	25	75	0	100	0	0	4,00	PD	DI	CM	CM	DE	DE	DE	DE	DE	2	1	3	1	43	43	0	0	0	0	14			

TIC's - ELECTRÓNICA	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)		Atractivo para España (moda 1 a 4)		Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)							
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrología - Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	3	4	5	6	7	
22. Criptografía cuántica para la protección de datos	14 6	0 0	43 100	57 0	82 67	18 33	0 0	3,82 3,67	TE-PD TE	TE-PD TE	DI-CM TE-CM	CM DI-CM	SD SD	SD SD	DE DE	DE DE	2 2	1 1	3 3	2-3 2-3	50 50	14 10	0 0	7 0	0 0	0 0	29 40	
23. Biometría para tareas de reconocimiento (huella dactilar)	14 4	0 0	29 100	71 0	67 75	22 25	11 0	3,56 3,75	TE-DI DI	PD-CM CM	CM CM	CM CM	SD SD	DE DE	DE DE	DE DE	2 2	1-2 1-2	4 4	4 4	38 38	15 25	0 0	23 13	0 0	0 0	23 25	



SALUD - BIOTECNOLOGÍA	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)		Atractivo para España (moda 1 a 4)		Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)						
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Mecanismos de Difusión y Transferecia de Tecnología
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	5
<b>SEGURIDAD ALIMENTARIA</b>																											
1. Aditivos para alimentos personalizados y biomarcadores de eficacia nutricional	13	0	38	62	40	50	10	3,30	TE	PD	DI	CM	SD-DE	DE-MT	DE-MT	MT	2-3	2	4	4	20	13	33	7	0	0	27
	5	0	100	0	60	40	0	3,60	PD	DI	CM	CM	SD	SD	SD	MT	4	—	4	4	40	0	40	0	0	0	20
2. Embalajes con propiedades anti-microbios y para la conservación prolongada de alimentos	17	0	41	59	50	50	0	3,50	TE	PD	CM	CM	DE	DE-MT	MT	MT	2	3	4	3-4	23	14	18	9	9	5	23
	7	0	100	0	43	57	0	3,43	TE	PD	CM	CM	SD-DE-MT	MT	MT	MT	2	2-3	4	3	20	10	30	10	10	0	20
3. Membranas de alta selectividad para procesos de separación y purificación	14	0	36	64	30	70	0	3,30	PD	PD	DI	CM	DE	DE	MT	MT	2	2	3	2	29	14	14	0	7	7	29
	5	0	100	0	40	60	0	3,40	PD	DI	DI-CM	CM	DE	DE	MT	MT	4	2-3	2	2	25	0	25	0	0	0	50
<b>COSMÉTICAS</b>																											
4. Cosméticos con propiedades preventivas (protectores solares, pasta dentífrica...)	14	0	64	36	42	50	8	3,33	PD	DI	DI	CM	DE	DE	DE-MT	MT	3	2	3	3	15	5	40	10	15	10	5
	9	0	100	0	44	56	0	3,44	PD	DI	DI	CM	DE	DE	MT	MT	2-3	2	3	3-4	19	6	38	13	13	6	6
<b>DIAGNOSIS</b>																											
5. Lab on a Chip	17	24	41	35	69	31	0	3,69	PD	DI	CM	CM	DE	DE	DE-MT	DE-MT	2	1	3	4	48	20	4	0	0	4	24
	11	36	64	0	64	36	0	3,64	TE-PD	PD	DI-CM	CM	DE	DE	DE	DE	2	1	3	3-4	53	18	6	0	0	6	18
6. Nano2bio: biosensores, biochips, chips celulares	18	33	44	22	82	12	6	3,76	TE	PD	PD	CM	DE	DE-MT	DE-MT	DE-MT	3	2	3	4	44	22	0	0	0	7	26
	14	43	57	0	86	14	0	3,86	TE	PD	PD	CM	DE	DE	DE	DE	3	2	3-4	4	48	17	0	0	0	9	26
7. Diagnóstico por imagen	14	7	29	64	75	17	8	3,67	TE	PD	DI	DI-CM	SD-DE	DE	DE	DE-MT	2	1	3	3	43	33	0	0	0	0	24
	5	20	80	0	100	0	0	4,00	TE	PD	PD	DI	SD	DE	DE-MT	MT	2	2	4	4	40	40	0	0	0	0	20
8. Agentes de contraste	13	8	23	69	64	27	9	3,55	TE	DI	CM	CM	DE	DE	DE	DE-MT	2-3	1	3	4	37	16	26	0	5	0	16
	4	25	75	0	75	25	0	3,75	TE	TE	PD	CM	DE	DE	DE-MT	MT	2	1	3	4	38	13	38	0	13	0	0
<b>TRATAMIENTO</b>																											
9. Implantes pasivos	12	25	17	58	70	20	10	3,60	TE	PD	DI	CM	SD	DE	DE-MT	MT	2-3	2	3	3	33	27	13	7	0	0	20
	5	60	40	0	80	0	20	3,60	TE-PD	PD	DI	CM	SD	DE-MT	MT	MT	2	1-2	3	4	29	29	14	14	0	0	14
10. Implantes activos	13	15	31	54	73	27	0	3,73	TE	TE	PD-CM	CM	DE-MT	DE-MT	DE-MT	MT	3	1	3-4	4	50	17	11	0	0	0	22
	6	33	67	0	83	17	0	3,83	TE	TE	PD-CM	PD-CM	DE	DE	DE	MT	3	1	4	4	50	30	0	0	0	0	20
11. Bioreactores para crecimiento bi y tridimensional de células	14	14	36	50	83	17	0	3,83	TE	TE-PD	TE-PD-DI	CM	SD	DE	MT	MT	2	1	3	3	50	33	6	0	0	0	11
	7	29	71	0	86	14	0	3,86	TE	PD	DI	CM	SD	SD-DE-MT	MT	DN	2	1	3-4	3	55	36	0	0	0	0	9

SALUD - BIOTECNOLOGÍA	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)				Atractivo para España (moda 1 a 4)				Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)						
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T		Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Micrología -Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología		
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6	7		
12. Terapias celulares	11	9	45	45	100	0	0	4,00	TE-PD	PD	DI	CM	SD	DE	MT	MT	2	1	4	4	38	6	31	6	0	0	19				
	6	17	83	0	100	0	0	4,00	PD	PD-DI	DI	CM	SD	MT	MT-DN	M-DN	2	1	4	4	42	8	33	8	0	0	8				
13. Ingeniería tisular	16	25	38	38	100	0	0	4,00	TE	DI	DI	CM	DE	DE	MT	MT	3	1	4	4	36	20	24	8	0	0	12				
	10	40	60	0	100	0	0	4,00	TE-PD	DI	TE-CM	PD-CM	DE	DE	DE-MT-DN	DN	3	1	4	4	37	26	21	11	0	0	5				
14. Cirugía	10	0	20	80	86	14	0	3,86	TE-PD	PD	DI	CM	SD	DE	DE	MT	2	2	3	3	30	20	20	0	0	0	30				
	2	0	100	0	100	0	0	4,00	PD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	33	33	0	0	0	0	33				
15. Desarrollo de fármacos	15	7	53	40	77	23	0	3,77	PD	DI	DI-CM	CM	DE	DE	MT	MT	2	2	3	4	38	14	14	5	0	0	29				
	9	11	89	0	78	22	0	3,78	PD	DI	DI	DI	DE	DE	MT	MT	2	2	4	4	40	20	7	7	0	0	27				
16. Administración de fármacos	17	18	41	41	87	13	0	3,87	TE	PD	DI	CM	SD	DE	MT	MT	3	3	3	4	29	21	17	0	0	4	29				
	10	30	70	0	100	0	0	4,00	PD	PD-DI	CM	CM	MT	MT	MT	MT	3	3	4	4	38	19	13	0	0	6	25				
<b>GENÓMICA, PROTEÓMICA</b>																															
17. Análisis de genes y proteínas	18	33	39	28	82	18	0	3,82	PD	DI	CM	CM	DE-MT	DE-MT	DE-MT-DN	MT	3	2	4	3-4	36	32	8	0	0	4	20				
	13	46	54	0	77	23	0	3,77	PD	DI	CM	CM	DE	DE-MT	DE-MT-DN	DE-MT-DN	3	2	4	2-3-4	36	32	9	0	0	5	18				
18. Secuenciación genética	14	14	43	43	80	20	0	3,80	PD	DI	CM	CM	DE	DE	DE	DE-MT-DN	4	3	4	4	19	38	6	0	6	0	31				
	8	25	75	0	83	17	0	3,83	PD	DI	CM	CM	DE	DE	DE	DE	3-4	3	4	3	14	43	7	0	7	0	29				



OTRAS APLICACIONES	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)				Atractivo para España (moda 1 a 4)				Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)						
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrolología -Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología			
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6	7		
<b>TEXTIL</b>																															
1. Fibras y textiles con funciones nuevas o mejoradas (durabilidad, resistencia, eficiencia en el lavado, conductoras, protectoras, con propiedades médicas e higiénicas...)	20	15	30	55	76	24	0	3,76	PD	PD-DI	DI-CM	CM	DE	MT	MT	MT	2-3	2-3	3	4	42	33	0	0	0	0	25				
	9	33	67	0	78	22	0	3,78	PD	DI	CM	CM	DE	DE	DE	MT	3	2	3	4	50	36	0	0	0	0	14				
2. Fibras y textiles inteligentes (en respuesta a cambios ambientales, a cambios corporales...)	19	5	42	53	59	41	0	3,59	PD	DI	CM	CM	SD	DE	MT	MT	2	3	3	4	46	29	4	0	4	0	17				
	9	11	89	0	67	33	0	3,67	PD	DI	CM	CM	SD-DE	DE	DE-MT	MT	2	1-3	3	4	50	21	7	0	7	0	14				
3. Fibras y textiles técnicos (industria, transporte, geotextiles...) de altas prestaciones mecánicas y funcionales	18	17	39	44	100	0	0	4,00	PD	DI	CM	CM	SD	MT	MT	MT	3	3	3	4	43	29	0	0	0	5	24				
	10	30	70	0	100	0	0	4,00	PD	DI	CM	CM	DE-MT	MT	MT	MT-DN	3	3	3	4	41	35	0	0	0	6	18				
<b>CONSTRUCCIÓN</b>																															
4- Nuevos materiales para la mejora del confort y la eficiencia energética: aislante/conductor térmico, eléctrico, magnético, acústico; ignífugo, hidrófobo, autolimpiable, etc."	22	23	50	27	90	10	0	3,90	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	MT	3	3	3	4	42	30	0	3	3	0	21				
	16	31	69	0	94	6	0	3,94	PD	DI	CM	CM	DE	MT	MT	MT	3	3	3	4	44	37	0	4	0	0	15				
5. Nuevos homigones (altas prestaciones, sin-retracción, autocompactables, inteligentes...)	14	14	21	64	64	27	9	3,55	TE	DI	CM	CM	SD-DE-MT	MT	MT	MT	2	2	3	4	50	19	0	6	0	6	19				
	5	40	60	0	80	0	20	3,60	TE-DI	DI	CM	CM	DE-MT	MT	MT	MT	2	2	3	4	50	25	0	13	0	0	13				
6. Nuevos materiales para construcción basados en nanocompuestos y nanoestructuras poliméricas	14	21	29	50	67	25	8	3,58	TE	PD	DI	CM	DE	DE	MT	MT	2-3	3	3	4	50	17	0	6	6	6	17				
	7	43	57	0	57	29	14	3,43	PD	DI	CM	CM	DE	DE	MT	MT	2-3	3	3	3-4	50	17	0	8	8	8	8				
<b>CERÁMICA</b>																															
7. Cerámicas con nuevas funciones: antideslizante, antirayado, nuevos efectos de diseño y textura, efectos térmicos, etc.	16	13	44	44	62	38	0	3,62	TE	PD	CM	CM	DE	DE	MT	MT	3	3	3	4	50	14	0	0	0	5	32				
	9	22	78	0	67	33	0	3,67	TE-PD	PD-DI	CM	CM	DE	DE	MT	MT	3	3	3	4	50	19	0	0	0	6	25				

OTRAS APLICACIONES	Nº de respuestas	Nivel de conocimiento %			Grado de importancia %			IGI (1 a 4)	Grado de Desarrollo de la Tecnología/Aplicación (moda)				Dominio/Dependencia Tecnológica (moda)				Posición de España (moda 1 a 4)				Atractivo para España (moda 1 a 4)				Factores críticos % (Seleccionar máximo 2)						
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		Índice grado importancia (IGI)	2010	2015	2020	<2020	2010	2015	2020	<2020	Capacidad C-T	Aplicación Industrial	Ciencia y Tecnología	Mercado	Desarrollo de Conocimiento C-T	Equipamiento e Infraestructuras	Regulación Salud pública	Regulación Seguridad	Regulación Medio Ambiental	Metrología -Normalización	Mecanismos de Difusión y Transferencia de Tecnología			
		1	2	3	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	3	4	5	6	7				
8. Cerámicas ultraduras de gran tenacidad	16 5	13 40	19 60	69 0	62 80	38 20	0 0	3,62 3,80	TE TE	PD PD	DI DI	CM CM	SD-DE SD-MT	DE MT	MT MT	MT MT	2-3 2-3	2 2	3-4 3-4	4 2-4	50 50	22 25	0 0	0 0	0 0	0 0	28 25				
9. Cerámicas conductoras para mecanizado por electroerosión, apantallamiento electromagnético, etc.	16 5	13 40	19 60	69 0	50 60	50 40	0 0	3,50 3,60	TE TE-DI	PD PD-CM	CM CM	CM CM	SD MT	DE MT	MT MT	MT MT	3 3	2 2	4 3-4	4 2-4	44 33	25 33	6 11	0 0	0 0	0 0	25 22				
<b>VARIOS</b>																															
10. Recubrimientos y pinturas con nuevas funciones: biocidas, autolimpiables, aislantes/conductoras, autosellantes, etc.	19 12	26 42	37 58	37 0	61 58	39 42	0 0	3,61 3,58	PD PD	DI DI	CM CM	CM CM	DE DE	MT DE-MT	MT MT	MT MT	2 2	1 1	3 3	3 3	48 56	22 28	4 0	0 0	4 0	0 0	22 17				
11. Nuevos envases inteligentes: con control de atmósfera interna, marcadores y sensores, liberación de conservantes, etc.	16 7	13 29	31 71	56 0	100 100	0 0	0 0	4,00 4,00	PD PD	DI DI	CM CM	CM CM	DE DE	MT MT	MT MT	MT MT	3 3	3 3	3 3	4 4	37 27	5 9	21 27	5 9	0 0	0 0	32 27				
12. Nuevos materiales multifuncionales para equipamiento deportivo	13 5	0 0	38 100	62 0	18 20	45 40	36 40	2,82 2,80	TE TE-PD	TE-PD-DI DI	CM CM	CM CM	SD SD-DE	DE SD-DE	MT MT	MT MT	2 2	1-2 2	2 2	2 2	46 57	23 29	0 0	0 0	0 0	0 0	31 14				







Patronato de la  
Fundación Observatorio  
de Prospectiva  
Tecnológica Industrial

MITYC. Ministerio de Industria, Turismo y  
Comercio

AINIA. Instituto Tecnológico  
Agroalimentario

CDTI. Centro para el Desarrollo  
Tecnológico Industrial

CIEMAT. Centro de Investigaciones  
Energéticas, Medioambientales y  
Tecnológicas

CSIC. Consejo Superior de  
Investigaciones Científicas

FECYT. Fundación Española para la  
Ciencia y la Tecnología

Fundación ASCAMM

Fundación EOI

Fundación Genoma España

Fundación ICT. Institut Català de  
Tecnología

Fundación INASMET

IDAE. Instituto para la Diversificación y  
Ahorro de Energía

INESCOP. Instituto Tecnológico del  
Calzado y Conexas

IQS. Institut Químic de Sarrià

OEPM. Oficina Española de Patentes y  
Marcas