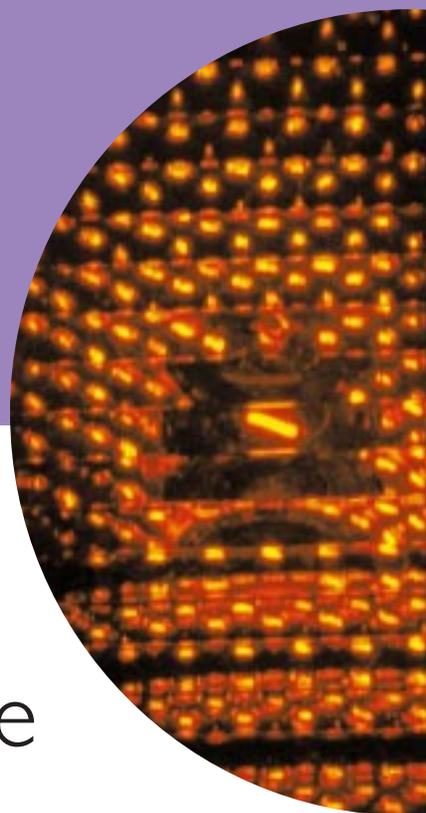


Materiales para el Transporte y la Energía

Tendencias
tecnológicas
a medio y
largo plazo



Juan Bravo, 10, 4º P
28006 Madrid
Tel.: 91 781 00 76
Fax: 91 575 18 96



El presente informe de Prospectiva Tecnológica ha sido realizado por la Fundación OPTI y con la participación de la Fundación INASMET.

Este documento ha sido elaborado por:
Gotzon Azkárate Garai-Olaun, FUNDACIÓN INASMET

Con la colaboración de:
Edurne Magro, FUNDACIÓN INASMET
José Francisco Liceaga, FUNDACIÓN INASMET
Mª Teresa Gutierrez, CIEMAT
Plácido Márquez, ITP

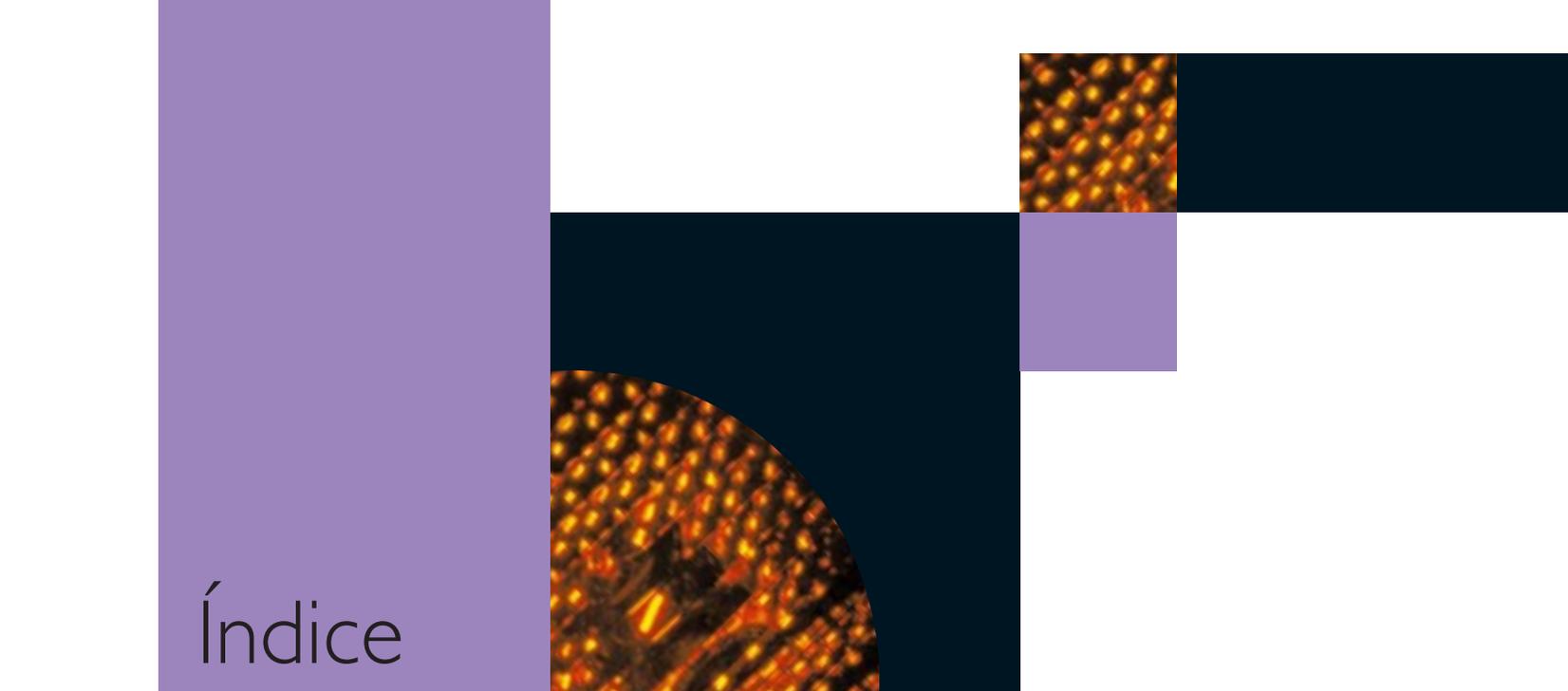
La Fundación OPTI y la Fundación INASMET agradecen sinceramente la colaboración ofrecida por la comunidad científica y empresarial para la realización de este informe, y en especial al Panel de Expertos

©Copyright: Fundación OPTI y Fundación Inasmet

Fecha: Diciembre 2003

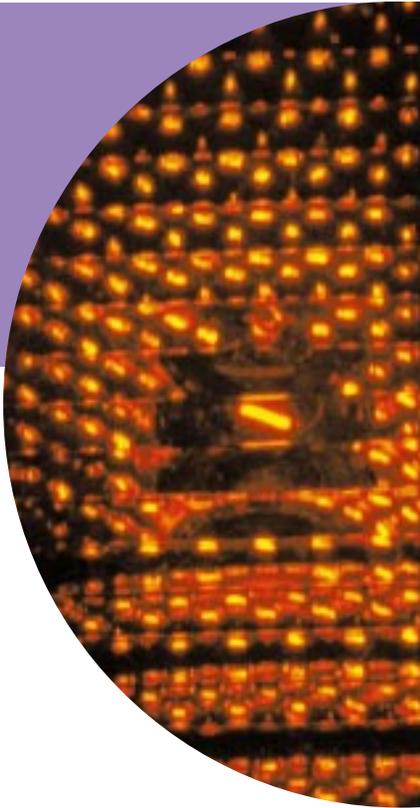
Depósito Legal:

Diseño y realización: Manuel Estrada Diseño Gráfico



Índice

INTRODUCCIÓN	4	Nanomateriales.....	32
PRESENTACIÓN DEL ÁMBITO DEL ESTUDIO.....	5	Reciclado y medioambiente.....	34
Análisis de trabajos previos.....	6	Modelización y cálculo.....	37
METODOLOGÍA.....	10	Energía fotovoltaica.....	39
RESULTADOS GENERALES.....	11	Células de combustible y vector hidrógeno.....	41
Aplicación del cuestionario (enviados/recibidos).....	11	Almacenamiento y transporte de energía (no-vector H ₂).....	45
Características de la población encuestada.....	11	Catálisis.....	47
Análisis de las variables.....	14	Otros.....	51
ANÁLISIS DE LOS TEMAS MÁS RELEVANTES DEL ESTUDIO.....	17	CONCLUSIONES.....	52
Aligeramiento y absorción de energía.....	21	ANEXO I: Panel de Expertos.....	55
Alta temperatura.....	23	ANEXO II: Cuestionario con los resultados del Estudio.....	56
Recubrimientos y pinturas.....	26		
Tecnologías de unión y otros procesos.....	28		
Materiales inteligentes.....	30		



Introducción

El estudio de prospectiva tecnológica sobre “Materiales para el Transporte y la Energía” 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, que ha sido la responsable de dirigir y ejecutar el estudio. En este informe se han identificado, con la ayuda de un alto número de expertos consultados, las tendencias tecnológicas que marcarán el futuro y una serie de tecnologías consideradas como críticas por la importancia que tendrán para el desarrollo de los materiales aplicados en los sectores del transporte y la energía en nuestro país y que deberían ser objeto de actuaciones concretas dentro de las futuras políticas tecnológicas. 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 las empresas puedan elaborar las estrategias de actuación más convenientes para afrontar los retos que se avecinen en dicha área



Presentación del ámbito del estudio

A pesar de que los materiales constituyen una disciplina eminentemente horizontal que alcanza a todas las áreas de actividad, el ámbito del estudio de prospectiva de materiales abordado desde la Fundación OPTI ha sido claramente orientado hacia las necesidades de los sectores del transporte y la energía. Son diversas las razones que se pueden aducir en defensa de esta perspectiva para el estudio.

En primer lugar, nos referiremos a la siempre recurrente inexistencia de un sector exclusivo de los materiales; circunstancia que obliga a decidir entre uno u otro sector de aplicación a fin de garantizar en la práctica la viabilidad del estudio ante la profusión de sustancias, productos y aplicaciones existentes.

En segundo lugar, conviene recordar la importancia de ambos sectores, insistiendo no sólo en su peso específico para la economía del país, sino también en su capacidad de condicionar la competitividad e, incluso, la propia existencia del resto de las actividades productivas.

En tercero, no resulta banal la existencia de sendos estudios de prospectiva previamente realizados por la Fundación OPTI en ambos sectores.

Finalmente, y sobre todo, hay que destacar la relevancia de los nuevos retos y desafíos a los que en este inicio de milenio se enfrentan ambos sectores y en los que los materiales están llamados a jugar un muy importante papel. Como colofón, señalaremos la circunstancia de que, a pesar de que cada sector tiene sus propios retos, ambos sectores se encuentran vinculados a través de dos problemas de índole global, como son el agotamiento de los combustibles fósiles, y el efecto invernadero producido por las emisiones de CO_2 .

Análisis de trabajos previos

El presente estudio consideró como punto de partida para la definición de los retos y desafíos en materiales, los estudios de prospectiva previamente realizados por la Fundación OPTI en ambos sectores (Tabla 1). Dichos estudios proporcionan un profundo análisis de las tendencias y tecnologías de futuro en las áreas principales del transporte y la energía (salvo para la energía nuclear, que no fue contemplada en los mismos).

La figura 1 muestra la trayectoria seguida para la definición de los temas del estudio de prospectiva de materiales a partir de los estudios del transporte y la energía de la Fundación OPTI y de otros referentes de prospectiva tecnológica. Como se puede observar en la figura, se ha seguido el camino inverso al utilizado en los estudios de la Fundación OPTI para la definición de tendencias.

En efecto, las tendencias de futuro definidas en los citados análisis prospectivos (Tabla 2), proporcionan una visión de los principales vectores de desarrollo a medio y largo plazo en estos sectores. Los temas importantes contemplados en cada tendencia definen los principales retos que es preciso alcanzar. Su materialización o no dependerá de muchos factores, pero entre ellos el desarrollo de los materiales y

FIGURA 1. TRAYECTORIA SEGUIDA EN EL ESTUDIO DE PROSPECTIVA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA.



sus procesos juega una baza decisiva en más de uno de los escenarios tecnológicos previstos.

Este razonamiento nos lleva a un amplio listado de temas relacionados con los materiales cuyo desarrollo, aunque incierto, es clave para la materialización de los escenarios previstos. El reagrupamiento y análisis de los mismos condujo a la definición, por parte del Panel de Expertos, de las principales áreas temáticas de interés que era preciso explorar en relación con los retos de ambos sectores.

TABLA 1. ESTUDIOS DE PROSPECTIVA SECTORIALES PREVIAMENTE REALIZADOS POR OPTI EN LOS SECTORES DEL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA

TRANSPORTE	ENERGÍA
<ul style="list-style-type: none"> • Sector Aeronáutico • Sector Ferrocarril • Sector Naval • Sector Automoción 	<ul style="list-style-type: none"> • Energías Renovables • Tecnologías Avanzadas de Conversión de Combustibles Fósiles • Transporte, Almacenamiento y Uso Final de la Energía

TABLA 2. TENDENCIAS DE FUTURO DETECTADAS EN LOS ESTUDIOS DE LA FUNDACIÓN OPTI, Y FUNCIONES/APLICACIONES EXIGIDAS A LOS MATERIALES EN EL TRANSPORTE Y EN LA ENERGÍA

TENDENCIAS DE FUTURO Y FUNCIONES/APLICACIONES EXIGIDAS A LOS MATERIALES

TRANSPORTE

SEGURIDAD (activa y pasiva):

- Capacidad de absorción de energía.
- Altas prestaciones y aligeramiento.
- Protección y baja agresividad para ocupantes y peatones.
- Resistencia al fuego, baja toxicidad de humos, antivandalismo.
- Materiales inteligentes.
- Sensores avanzados.
- Materiales con elevada tolerancia al daño.

SOSTENIBILIDAD

- Fin de vida:
 - Reciclado, reutilización, revalorización.
 - Materiales biodegradables.
 - Tecnologías y Procesos.
- Propulsión convencional avanzada:
 - Aligeramiento.
 - Altas temperaturas en motores, y reactores.
 - Baja fricción y desgaste.
 - Reducción de pérdidas: térmicas (aislamiento, intercambiadores eficientes –turbocompresor–) y mecánicas (recuperación y almacenamiento de energía).
 - Reducción de emisiones gaseosas y acústicas.
 - Catalizadores y filtros de partículas.
- Propulsión alternativa:
 - Baterías avanzadas y otros sistemas de almacenamiento de energía.
 - Células de combustible: membranas, catalizadores y conductores iónicos.
 - Almacenamiento, distribución y uso de H₂.
 - Sistemas de bajo peso y bajo coste.

ENERGÍA

DIVERSIFICACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES

- Altas prestaciones y aligeramiento para aerogeneradores.
- Módulos fotovoltaicos.
- Sistemas de concentración fotovoltaica.

DESCENTRALIZACIÓN. SISTEMAS DISTRIBUIDOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

- Altas temperaturas en turbinas de gas.
- Células de combustible.
 - Membrana polimérica.
 - De conversión directa de metanol.
 - Ácido fosfórico.
 - Carbonatos fundidos.
 - Óxidos sólidos.
- Materiales para electrónica de potencia.

TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE ENERGÍA

- Vector hidrógeno: producción almacenamiento y distribución de H₂.
- Baterías y sistemas de almacenamiento de energía (volantes de inercia, superconductores).
- Conductores.
- Superconductores.
- Aislantes.

TECNOLOGÍAS DE USO LIMPIO DE COMBUSTIBLES FÓSILES PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

- Materiales para alta presión y temperatura.
 - Gasificación y licuefacción del carbón.
 - Captura, y almacenamiento o fijación de CO₂.
 - Catálisis.
 - Turbinas de H₂.
-

TENDENCIAS DE FUTURO Y FUNCIONES/APLICACIONES EXIGIDAS A LOS MATERIALES

TRANSPORTE

ALTA VELOCIDAD

- Aligeramiento.
- Sistemas de freno.
- Cojinetes alta velocidad.
- Baja fricción, desgaste y corrosión.
- Materiales absorbentes.
- Materiales inteligentes.
- Sensores avanzados.
- Ingeniería de superficies.
- Materiales para alta temperatura (eficiencia en motores).

INTERMODALIDAD

INTEROPERABILIDAD

EFICIENCIA EN LA FABRICACIÓN Y EN LA EXPLOTACIÓN

- Materiales no metálicos: altas prestaciones y bajo coste.
- Tecnologías de unión. Adhesivos estructurales.
- Modelización, simulación de productos y procesos.
- Ciclo de vida.
- Aligeramiento.
- Tecnologías avanzadas de fabricación en materiales compuestos.
- Estructuras y materiales inteligentes.
- Nuevos materiales más eficientes y tolerantes al daño.
- Métodos de predicción y ensayo de estructuras primarias.
- Inflamabilidad, toxicidad y emisión de humos.
- Uniones compuesto-metal.
- Conformado superplástico.
- Tecnologías de diagnóstico de vida residual.
- Corrosión-desgaste-fricción. Tecnologías de protección.

ENERGÍA

DIVERSIFICACIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR TRANSPORTE

- Baterías.
- Células de combustible.
- Vector hidrógeno.

EFICIENCIA ENERGÉTICA

- Sistemas de iluminación de alta eficiencia.
 - Aislamiento térmico.
-

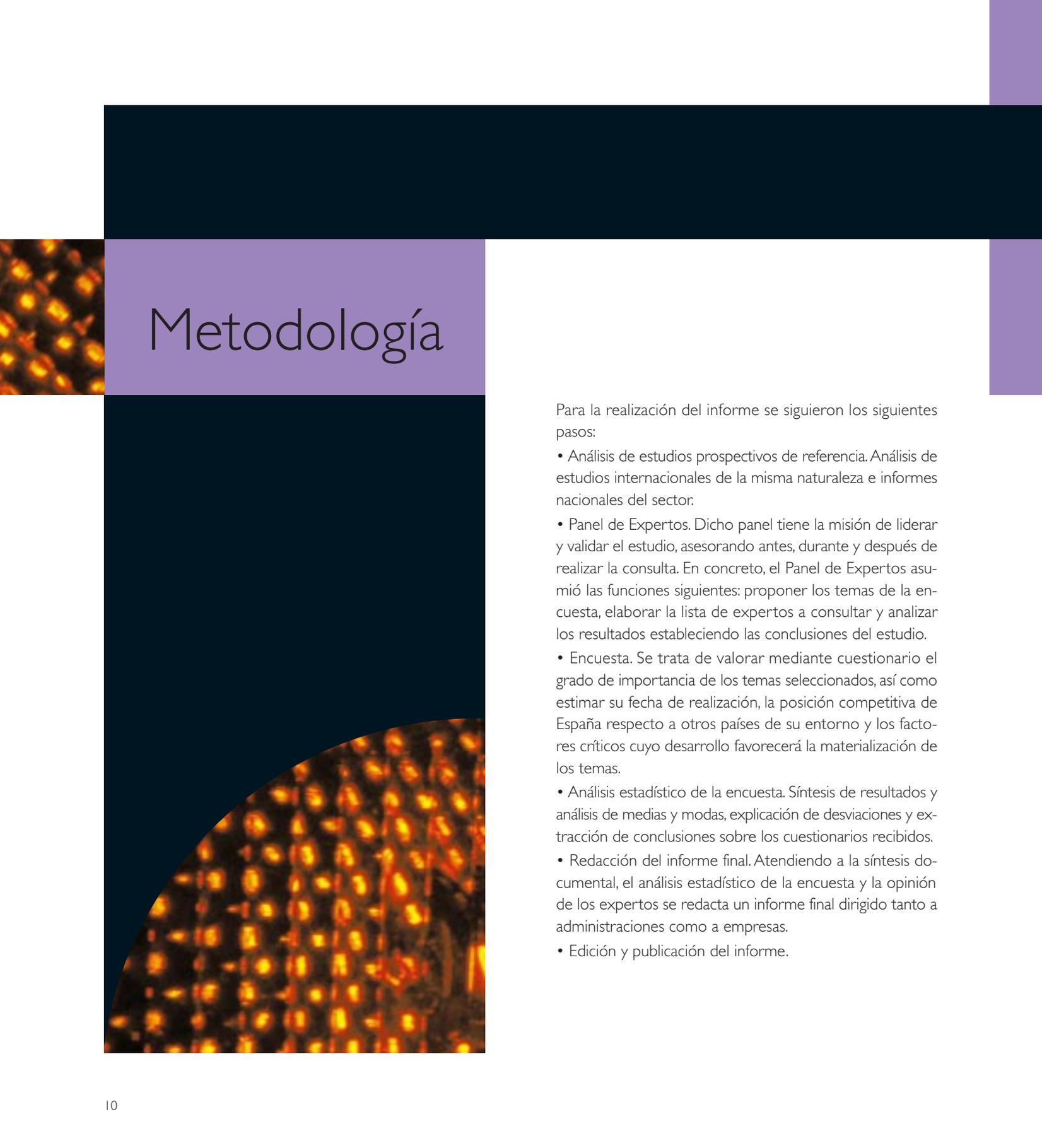


Dichas áreas son:

TABLA 3. ÁREAS TEMÁTICAS DEL ESTUDIO

Área temática	Temas
Aligeramiento y absorción de energía	1 a 5
Alta temperatura	6 a 10
Recubrimientos y pinturas	11 a 14
Tecnologías de unión y otros procesos	15 a 19
Materiales inteligentes	20 a 21
Nanomateriales	22 a 24
Reciclado y medioambiente	25 a 27
Modelización y cálculo	28 a 30
Energía fotovoltaica	31 a 34
Células de combustible y vector hidrógeno	35 a 38
Almacenamiento y transporte de energía (no-vector H ₂)	39 a 41
Catálisis	42 a 45
Otros	46 a 47

Finalmente, se definieron los temas que dan contenido a estas áreas y que constituyen el objeto de la consulta (anexo 11). En este último punto, y siguiendo con la estrategia utilizada en otros estudios, el análisis bibliográfico de otros trabajos de prospectiva de materiales realizados en Europa (Reino Unido) y en Japón facilitó el consenso sobre los contenidos de los temas representativos de cada área y proporcionó la base para la redacción de una parte (30) de los temas utilizados en la consulta. El resto, (17 temas) fueron redactados por el propio Panel de Expertos.



Metodología

Para la realización del informe se siguieron los siguientes pasos:

- Análisis de estudios prospectivos de referencia. Análisis de estudios internacionales de la misma naturaleza e informes nacionales del sector.
- Panel de Expertos. Dicho panel tiene la misión de liderar y validar el estudio, asesorando antes, durante y después de realizar la consulta. En concreto, el Panel de Expertos asumió las funciones siguientes: proponer los temas de la encuesta, elaborar la lista de expertos a consultar y analizar los resultados estableciendo las conclusiones del estudio.
- Encuesta. Se trata de valorar mediante cuestionario el grado de importancia de los temas seleccionados, así como estimar su fecha de realización, la posición competitiva de España respecto a otros países de su entorno y los factores críticos cuyo desarrollo favorecerá la materialización de los temas.
- Análisis estadístico de la encuesta. Síntesis de resultados y análisis de medias y modas, explicación de desviaciones y extracción de conclusiones sobre los cuestionarios recibidos.
- Redacción del informe final. Atendiendo a la síntesis documental, el análisis estadístico de la encuesta y la opinión de los expertos se redacta un informe final dirigido tanto a administraciones como a empresas.
- Edición y publicación del informe.

Resultados Generales

Aplicación del cuestionario (enviados/recibidos)

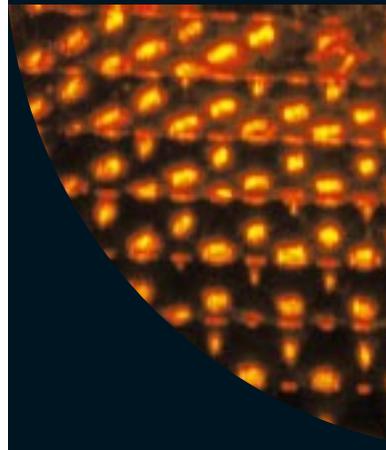
La aplicación del cuestionario utilizado como base del estudio, fue realizada a lo largo del último trimestre del 2002.

Los envíos y respuestas obtenidas son las siguientes:

- Número de cuestionarios enviados: 384.
- Numero de cuestionarios recibidos: 72.
- Tasa de respuesta: 18,75%.

Características de la población encuestada

La población de expertos encuestados está compuesta por; aproximadamente, un 11% de mujeres y un 89% de hombres, con una edad comprendida entre los 30 y 60 años, centrada (37%) entre los 41 y 50 años.



Procedencia profesional

Tal como se aprecia en la tabla 4, los cuestionarios fueron enviados a expertos de Centros de I+D (20,6%), de Universidades (62,5%), de Industrias (14,3%), de la Administración (1%), y de otras organizaciones (1,5%).

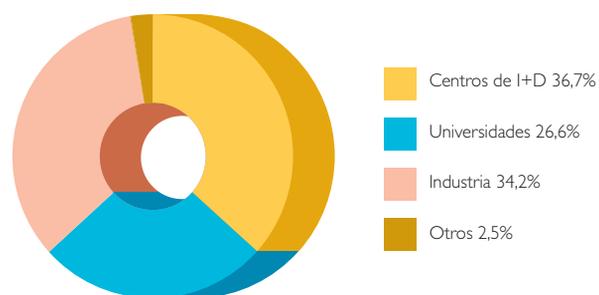
TABLA 4. TIPOS DE ORGANIZACIONES CONSULTADAS Y EXPERIENCIA MANIFESTADA EN LAS RESPUESTAS OBTENIDAS: VALORES ABSOLUTOS

Procedencia profesional	Destino de los cuestionarios enviados	Experiencia manifestada en los cuestionarios recibidos*
Centros de I+D	79	29
Universidad	240	21
Industria	55	27
Administración	4	0
Otros	6	2

(*) Algunos consultados señalan que su experiencia procede de más de uno de los campos indicados.

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

FIGURA 2. EXPERIENCIA MANIFESTADA EN LAS RESPUESTAS OBTENIDAS





Procedencia geográfica

Los 384 cuestionarios de la primera ronda fueron enviados a las siguientes comunidades autónomas: Andalucía (11.2%), Aragón (14.4%), Asturias (4.9%), Cantabria (3.9%), Castilla y León (3.7%), Castilla la Mancha (1.5%), Cataluña (4.1%),

Comunidad Valenciana (4.1%), Extremadura (2.7%), Galicia (1.5%), Madrid (37.6%), Murcia, (2.0%), Navarra (1.2%), País Vasco (7.3%). No obstante, tal como se observa en la tabla siguiente, las respuestas obtenidas modifican sensiblemente esta distribución.

TABLA 5. DISTRIBUCIÓN POR ÁREAS GEOGRÁFICAS DE LOS EXPERTOS PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO

Procedencia profesional	Cuestionarios enviados	Cuestionarios recibidos	% de respuestas
Andalucía	43	2	2.78
Aragón	55	2	2.78
Asturias	19	2	2.78
Baleares	-	-	-
Canarias	-	-	-
Cantabria	15	0	0
Castilla La Mancha	6	1	1.39
Castilla y León	14	1	1.39
Cataluña	16	2	2.78
Comunidad Valenciana	16	2	2.78
Extremadura	10	0	0
Galicia	6	1	1.39
La Rioja	-	-	-
Madrid	144	33	45.83
Murcia	7	1	1.39
Navarra	5	4	5.56
País Vasco	28	21	29.17
TOTAL	384	72	100%

Análisis de las variables

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 las respuestas obtenidas muestran la siguiente distribución:

- Nivel de conocimiento alto: 17%.
- Nivel de conocimiento medio: 34%.
- Nivel de conocimiento bajo: 49%.

Considerando que los expertos han opinado sobre 28 a 29 temas como media, estos valores indican que, por término medio, los encuestados conocen en profundidad 4 a 5 temas, con un nivel medio otros 9 ó 10 y, finalmente, con un nivel bajo unos 14 a 15 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 3,34 y cuando se consideran sólo las respuestas con conocimiento alto y medio es de 3,49, en una escala que va del 1 al 4.

Fecha de materialización

La distribución de los pronósticos para la materialización de los temas son muy similares tanto si se consideran todas las respuestas como si se reduce la muestra a las respuestas con conocimiento alto y medio. En ambos casos se aprecia que el horizonte temporal para la materialización de la mayoría de los temas (43,4 a 47,5%) se sitúa en el período 2006-2010.

FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE LOS TEMAS POR FECHA DE MATERIALIZACIÓN



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 5 y 6, se puede afirmar que la consideración de todas las respuestas proporciona una visión más pesimista que la correspondiente a la de los expertos con conocimiento alto o medio. No obstante, los resultados obtenidos dejan entrever una opinión mayoritaria de que la posición de España es equiparable en términos generales a la media de la de los países de su entorno tanto en capacidad científica y tecnológica como, en lo referente a la aplicabilidad industrial.

FIGURA 5. CAPACIDAD CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

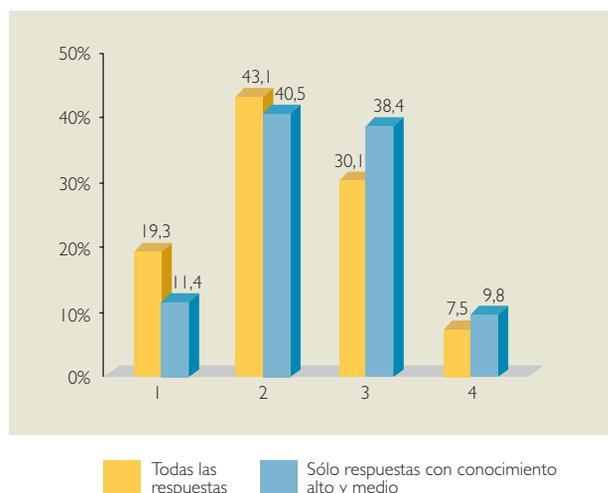


FIGURA 6. APLICABILIDAD INDUSTRIAL DE LOS TEMAS





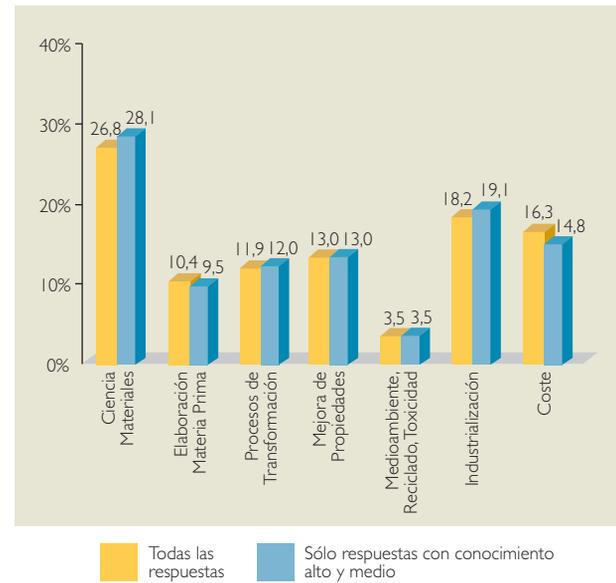
Factores críticos

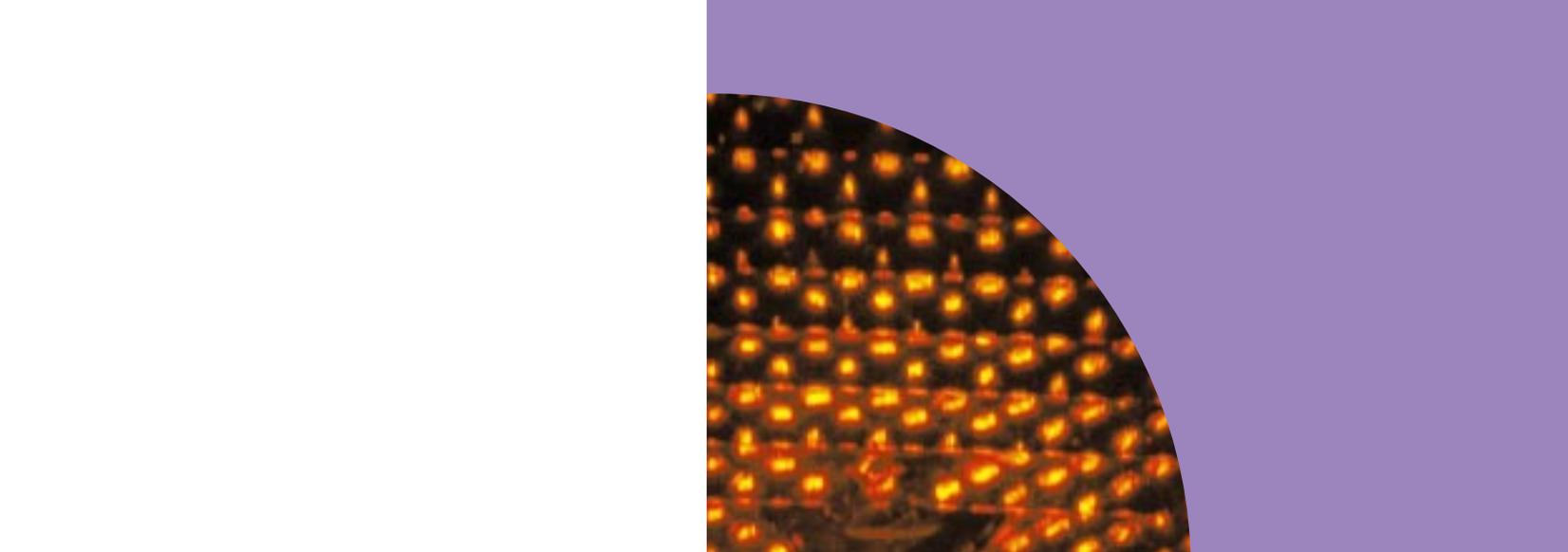
Esta variable hace referencia a los ámbitos o dominios en los que se identifican los principales problemas o dificultades que es preciso resolver. Se propusieron siete factores críticos:

- Conocimiento – Ciencia de los materiales
- Elaboración de la materia prima
- Procesos de transformación
- Mejora de propiedades
- Medioambiente – Reciclabilidad – Toxicidad
- Industrialización
- Coste.

La figura 7, muestra la distribución de las respuestas obtenidas. El principal factor crítico estaría ligado, en términos generales, al desarrollo de conocimientos en el ámbito de la ciencia de los materiales, seguido por los problemas derivados de la industrialización y de la reducción de costes.

FIGURA 7. FACTORES CRÍTICOS





Análisis de los temas más relevantes del estudio

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, la figura 8 muestra los valores alcanzados por cada uno de los temas, considerando sólo las opiniones de los expertos que han respondido consignando un *nivel de conocimiento alto o medio* en relación con 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, se ha optado arbitrariamente por considerar sólo los 21 primeros temas de este ordenamiento, y excluir el tema 47 por el bajo número de respuestas (5) de expertos que avalan este resultado, con lo que, en adelante, se hará referencia a estos “**20 temas**” resultantes de esta operación como los “**temas relevantes**” del estudio.



FIGURA 8. CLASIFICACIÓN DE LOS TEMAS SEGÚN EL ÍNDICE GRADO DE IMPORTANCIA (IGI)

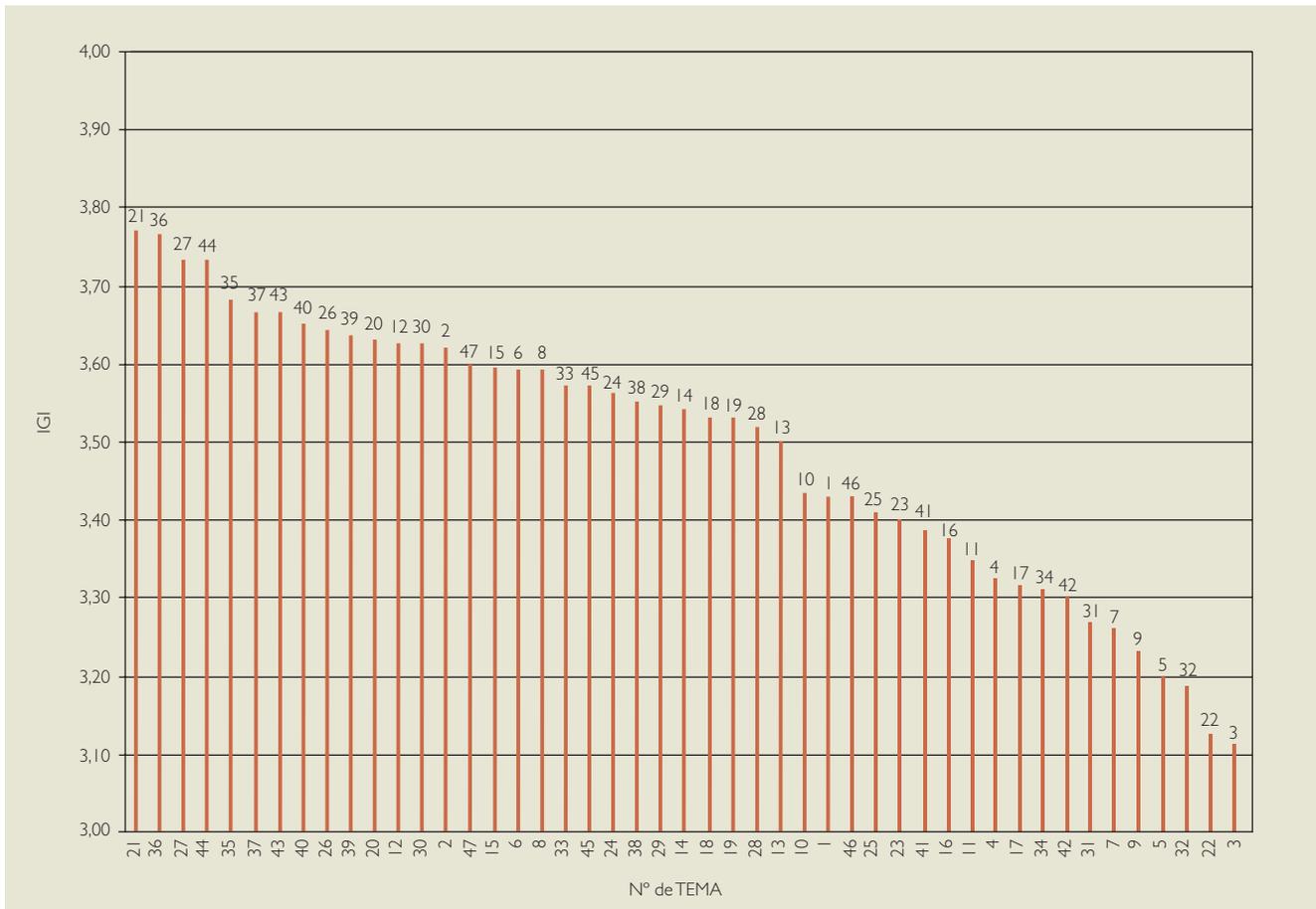


TABLA 6. CLASIFICACIÓN DE LOS 20 TEMAS RELEVANTES SEGÚN SU FECHA DE MATERIALIZACIÓN

Fecha de Materialización	2006-2010	2011-2015
Aligeramiento y absorción de energía	2. AU de materiales ligeros para reducir un 30% el peso.	
Alta Temperatura	6. AU Intermetálicos superresistentes a altas temperaturas.	8. D de materiales estructurales tolerantes a defectos, sin refrigeración a $T > 1400^{\circ}\text{C}$, at. oxidante
Recubrimientos y pinturas	12. D de recubrimientos inteligentes para aumentar ($> \times 2$) la vida en servicio.	
Tecnologías de unión y otros procesos	15. UP Tecnologías de soldadura de materiales de altas prestaciones sin disminuir resistencia, tenacidad y fatiga.	
Materiales Inteligentes	20. D de Materiales inteligentes con capacidad de monitorización de vida in situ	21. D de Materiales inteligentes con funciones de autodiagnóstico, autoreparación, ...
Nanomateriales		24. D de Nanotecnologías para la obtención de materiales cerámicos, metálicos y poliméricos con propiedades superiores a las actuales
Reciclado y medioambiente	26. A de tecnologías de reciclado del 100% materiales de vehículos	27. D de Tecnologías de fijación de CO_2
Modelizado y cálculo	30. AU Predicción de vida a l/p basado en el modelizado teórico cuantitativo del comportamiento de los mat.	
Energía fotovoltaica		33. UP de células solares de capa fina de gran superficie de calcopiritas, efic. $> 20\%$
Células de combustible y vector H_2	35. UP Cel. Comb. Estac.: nuevos mat. cerámicos, $>$ prestación, $<$ coste 36. UP Cél. Comb.: Nuevas membranas PEM de $>$ eficacia y $<$ coste 37. Aplicación de hidruros avanzados para almacenar H_2	
Almacenamiento y transporte de energía (no-vector H_2)	39. AU Baterías de alta densidad de energía ($\times 5$) y bajo coste, para vehículos	40. UP de superconductores con T^a de trabajo $> 77^{\circ}\text{K}$
Catálisis	44. UP de procesos catalíticos a baja T^a para producir H_2 a partir del metano 45. UP de catalizadores de alta eficiencia controlando su nanoestructura	43. UP de nuevos catalizadores de $<$ coste y eficiencia $\geq \text{Pt}$ para células PEM

Nota: D = desarrollo; UP = uso práctico; AU = amplio uso; A = aplicación.



La tabla 6 sitúa estos 20 temas relevantes en función de la fecha pronosticada por los expertos para su materialización. Trece de ellos lo harán en el período 2006-2010, mientras que los siete restantes se materializarán en el intervalo 2011-2015. Se aprecia que todas las áreas temáticas disponen, al menos, de alguno de estos 20 temas relevantes. En particular, parecen destacar por el número de temas que aportan a este conjunto el área de 'Células de Combustible y Vector H_2 ' y el área de 'Catálisis', con tres temas cada uno, y con la particularidad de que de estos seis temas cinco hacen referencia a la problemática de las células de combustible y del vector hidrógeno.

A continuación se describirán, agrupándolos por área temática y según su grado de importancia, cada uno de los 20 temas relevantes con el objetivo de situarlos en su contexto, proporcionando una visión global de los mismos, sus retos, líneas de investigación, etc.

Los temas relevantes serán resaltados en color en la tabla de encabezamiento de cada área temática.

Aligeramiento y absorción de energía

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
2	Amplio uso de materiales ligeros para reducir un 30% el peso de los componentes sustituidos.	3,62	2006-2010
1	Desarrollo de super-aceros cuyas estructuras están controladas a escala nanométrica, para aplicaciones de absorción de energía de impacto, aligeramiento, etc.	3,43	2006-2010
4	Desarrollo de nuevos materiales compuestos y espumas (de naturaleza diversa) con baja densidad y capacidad de absorción de energía sensiblemente mayor que los materiales actuales.	3,32	2006-2010
5	Desarrollo de materiales de porosidad y rugosidad controlada que permitan disminuciones superiores a 10 dB del ruido percibido.	3,20	2006-2010
6	Desarrollo de fibras poliméricas con una resistencia al desgarro de 40% del valor teórico de 20 GPa y un módulo de elasticidad del 90% del valor teórico de 250 GP.	3,11	2011-2015

Sin olvidar la demanda de aligeramiento del sector energético (aerogeneradores, aislantes, conductores, ...), éste se orienta fundamentalmente al transporte ya que la reducción de peso es una de las formas más evidentes de aumentar la eficacia de los vehículos y, por ende, reducir los consumos y las emisiones de gases contaminantes. Se trata, por lo tanto, de una premisa omnipresente y bien conocida en todo el sector del transporte que, sin embargo, es muy difícil de satisfacer como lo demuestra el hecho de que, por ejemplo, los automóviles actuales pesan de media unos 100 a 200 kg más que los de hace sólo dos décadas.

La voluntad de aligerar continuamente los vehículos se enfrenta con otros requerimientos, frecuentemente contrapuestos e igualmente importantes, como son la seguridad, el confort, las prestaciones de uso, la reciclabilidad y, por supuesto el coste, donde las prestaciones del material y, en especial, su capacidad de absorción de energía son condiciones

que obligan a la búsqueda de compromisos aceptables por todos los criterios de diseño.

El desarrollo de nuevos materiales es uno de los elementos clave para resolver la situación autorizando reducciones suplementarias de peso. Por ello, en esta área temática se ha querido interrogar sobre alternativas de desarrollo que suscitan el interés de la comunidad científica internacional. El Tema 2 ha sido considerado como el más importante de este grupo. La posición de España con respecto al mismo ha sido considerada como superior a la media de los países de nuestro entorno, tanto en capacidad científico-tecnológica como en su aplicabilidad industrial. Entre los factores críticos para su desarrollo se han destacado la industrialización y el coste, pero seguidos muy de cerca por la necesidad de mejorar el conocimiento de materiales, sus propiedades y procesos de transformación.

TEMA Nº 2: AMPLIO USO DE MATERIALES LIGEROS PARA REDUCIR UN 30% EL PESO DE LOS COMPONENTES SUSTITUIDOS

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
<ul style="list-style-type: none">• Capacidad C-T = 3• Aplicabilidad industrial = 3	<ul style="list-style-type: none">• Industrialización• Coste

La incesante necesidad de incrementar rendimientos y eficiencias, está obligando a los sectores de Transporte y Energía a una continua demanda de materiales cada vez más ligeros y con mejores propiedades mecánicas. A fin de responder a ese deseo de aligeramiento, se ha creado un entorno creciente y evolutivo en torno a la investigación, el desarrollo y la innovación de la ciencia de los materiales.

Los avances más relevantes en el estudio de estos materiales para ambos sectores, se están desarrollando principalmente en torno a los plásticos, los materiales compuestos y las aleaciones ligeras, aunque en franca competencia con los aceros de muy alta resistencia cuyo uso induce importantes reducciones de peso en los automóviles, tal como lo ha demostrado la iniciativa ULSAB-AVC (*Ultralight Steel Auto Body – Advanced Vehicle Concepts*) de la industria del acero, además de otras ventajas como bajo coste y elevada reciclabilidad.

Los plásticos comienzan a ser usados en algunas piezas del chasis y la posibilidad de que puedan ser recubiertos y coloreados abre nuevas posibilidades de uso, pero su pobre reciclabilidad suscita dudas mientras se propone limitar el uso a unas pocas familias de plástico y etiquetar los componentes. El elevado coste de los materiales compuestos de altas prestaciones es una de las principales barreras para su aplicación en automoción, por lo que sigue enfocado a las aplicaciones aeronáuticas o a nichos de alto valor añadido.

Las nuevas aleaciones de aluminio, titanio y magnesio, con propiedades mejoradas son capaces de competir ventajosamente con los materiales convencionales.

El uso del magnesio en automoción tiende a crecer a pesar de su elevado coste y de los problemas en su procesamiento, pero sobre todo, comienza a proponerse con fuerza la sustitución de componentes de acero por aleaciones de aluminio. Esta extensión en el uso del aluminio está ligada al desarrollo de nuevas tecnologías de proceso: tecnologías de unión (fricción FSW, láser, ...), extrusión, hidroformado, etc. Por otra parte, el desarrollo de materiales más específicos como los compuestos (Al-SiC, Al-TiC, Mg-C, Ti-SiC...), los intermetálicos (TiAl, FeAl, NiAl, MoSi, etc...) y los materiales metálicos porosos muy ligeros (espumas metálicas), están permitiendo evolucionar eficazmente en propiedades muy concretas, por ejemplo, las propiedades de desgaste, propiedades mecánicas a alta temperatura, absorción de energía en impacto o dureza del material. Finalmente, la evolución de las tecnologías de procesamiento y obtención de los materiales, como el procesamiento en estado semi-sólido, procesos de alta velocidad y precisión o fabricación a forma final, están permitiendo el desarrollo de estos materiales en entornos industriales cada vez más complejos, competitivos y de mayor valor añadido.

Por todo ello, numerosos programas de desarrollo y equipos de investigación centran en la actualidad sus esfuerzos en el desarrollo de materiales avanzados que reduzcan significativamente el peso tanto del chasis como de la estructura de los vehículos con objeto de mejorar las eficiencias de combustible consumido y reducir las emisiones a la atmósfera. Todo ello sin que se vean perjudicados aspectos como la seguridad, las prestaciones, la reciclabilidad o el coste de los vehículos.

La sustitución en aras del aligeramiento de unos materiales por otros en aplicaciones de gran demanda, debe, finalmente, sustentarse en el análisis del ciclo completo de vida de los materiales a fin de garantizar que la solución adoptada reduce los posibles impactos negativos a escala planetaria, comparados con la situación anterior.

Alta temperatura

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
6	Amplio uso de materiales intermetálicos superresistentes a altas temperaturas para componentes mecánicos de aviación, motores, turbinas, etc.	3,59	2006-2010
8	Desarrollo de materiales estructurales tolerantes a defectos capaces de funcionar sin refrigeración a más de 1400°C en atmósfera oxidante.	3,59	2011-2015
10	Desarrollo de polímeros y matrices poliméricas utilizables en continuo a temperaturas de servicio de hasta 450°C.	3,43	2011-2015
7	Desarrollo de aleaciones resistentes al calor capaces de soportar cargas de 150 N/mm ² , a temperaturas de 1.200°C, durante al menos 1.000 horas de servicio.	3,26	2006-2010
9	Amplio uso de aleaciones especiales de titanio para altas temperaturas.	3,23	2006-2010

El aumento de la temperatura incrementa el rendimiento de los ciclos termodinámicos, lo cual proporciona, a igualdad de energía útil, una importante reducción en los consumos y las emisiones. Por lo tanto, la evolución de los sistemas de propulsión y de generación de energía está estrechamente ligada a la mejora de las propiedades de los materiales a temperaturas cada vez más altas.

Los temas propuestos en esta área contemplan las expectativas previstas para algunas de las principales líneas en las que se trabaja hoy en día en el campo de los materiales para altas temperaturas. El resultado de la consulta sitúa a los Temas 6 y 8 entre los más relevantes del cuestionario. En ambos casos, los expertos consideran que la capacidad cien-

tífica y tecnológica española se encuentra a un nivel igual o mejor que la media europea. La aplicabilidad industrial estaría por encima en el caso de los intermetálicos y sería igual a la de los países de nuestro entorno en el tema octavo.

Los factores críticos a resolver para alcanzar los escenarios previstos en ambos temas, están relacionados en primer lugar y, sobre todo, con los desarrollos en el conocimiento y en la ciencia de los materiales. En segundo lugar se citan los procesos de transformación para el caso de los intermetálicos; y la elaboración de materia prima en los materiales estructurales del tema 8 cuya materialización no se prevé hasta el período 2011-2015.

TEMA Nº 6: AMPLIO USO DE MATERIALES INTERMETÁLICOS SUPERRESISTENTES A ALTAS TEMPERATURAS PARA COMPONENTES MECÁNICOS DE AVIACIÓN, MOTORES, TURBINAS, ETC.

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
• Capacidad C-T = 2-3	• Conocimiento-Ciencia Materiales
• Aplicabilidad industrial = 3	• Procesos de Transformación

Actualmente uno de los principales factores que limitan el diseño de motores y turbinas de altas prestaciones, es el material. Cada vez es más necesaria la utilización de materiales ligeros resistentes a altas temperaturas, ya que las actuales aleaciones de titanio y superaleaciones presentan limitaciones de uso por razones de su baja temperatura de fusión o de su elevada densidad. En este entorno los materiales ligeros resistentes a altas temperaturas, son piezas clave para las futuras generaciones de motores y turbinas. Las nuevas aplicaciones demandan materiales más ligeros que ofrezcan:

- Alto punto de fusión.
- Resistencia a la degradación ambiental.
- Estabilidad química y estructural.
- Buenas propiedades mecánicas específicas.

Entre los potenciales candidatos se encuentran los materiales intermetálicos, que son materiales ligeros y resistentes a altas temperaturas. Destacando entre ellos, sobre todo para aplicaciones aeroespaciales, los aluminuros de titanio principalmente por su ligereza y sus prestaciones a altas temperaturas.

Los materiales intermetálicos son compuestos químicos de dos elementos metálicos con una fórmula dada, y que, normalmente, forman redes cristalinas diferentes de las que poseen ambos elementos. De aquí derivan sus particulares características que los asemejan a las cerámicas por su elevado punto de fusión, alta resistencia y baja ductilidad, pero con un comportamiento metálico en cuanto a su conductividad eléctrica y su aptitud a ser procesados con tecnologías convencionales de los metales.

En comparación con los materiales utilizados actualmente –aleaciones de titanio y superaleaciones–, los intermetálicos basados en TiAl y Ti₃Al ofrecen importantes oportunidades de aplicación ya que combinan una baja densidad, menor que las aleaciones de Ti, con una superior resistencia a la oxidación y con propiedades mecánicas que se aproximan a las de las superaleaciones base níquel, extendiendo su rango de utilización a temperaturas de hasta 500÷800°C.

Sin embargo, a pesar de sus excelentes propiedades a alta temperatura, los intermetálicos en general y, el TiAl en particular, presentan una baja ductilidad y tenacidad a temperatura ambiente, limitando sus aplicaciones industriales. A fin de superar este escollo, se explora en varias direcciones: el desarrollo por microaleación de intermetálicos TiAl con pequeñas fracciones de Ti₃Al ó Ti₂AlNb, la optimización mediante la formulación de nuevas composiciones (Ti-47Al-1Cr-1V-2,5Nb), y/o el desarrollo de materiales compuestos de matriz intermetálica reforzados con fibras continuas de carburo de silicio como materiales candidatos para alcanzar los requerimientos exigidos por los sistemas de propulsión de siguiente generación.

TEMA N° 8: DESARROLLO DE MATERIALES ESTRUCTURALES TOLERANTES A DEFECTOS CAPACES DE FUNCIONAR SIN REFRIGERACIÓN A MÁS DE 1.400°C EN ATMÓSFERA OXIDANTE

Posición de España (1° a 4°)	Factores críticos
• Capacidad C-T = 3	• Conocimiento-Ciencia Materiales
• Aplicabilidad industrial = 2	• Elaboración Materia Prima

Es ampliamente conocido que el incremento de la temperatura de operación de las turbinas de gas se traduce en una notable mejora en su rendimiento. Sin embargo, para que este incremento pueda ser efectivo es necesario desarrollar materiales capaces de operar en esas condiciones. Las superaleaciones base níquel actualmente empleadas tienen una temperatura máxima de trabajo que se sitúa en torno a los 1200° C por lo que, si se desea su empleo con unos gases más calientes es necesario introducir una refrigeración interna adecuada o aplicar un recubrimiento que actúe a modo de barrera térmica para reducir la temperatura del material a unos niveles que se puedan considerar operativos. Esto supone una gran dificultad puesto que requiere practicar unos canales de refrigeración internos en la pieza, labor que no se puede calificar de sencilla y garantizar que una obstrucción de alguno de ellos no eleve la temperatura por encima del máximo admisible, o aplicar un recubrimiento que puede inducir una merma en otras propiedades.

Una alternativa en cuanto a materiales capaces de soportar esas temperaturas se refiere, se halla en los materiales cerámicos. Entre éstos los candidatos deberán poseer, dadas las condiciones de uso, la capacidad de desarrollar óxidos protectores estables que impidan su degradación; lo cual reduce significativamente las opciones disponibles. Además, los materiales cerámicos presentan un serio inconveniente que es preciso superar para que se pueda conside-

rar su utilización en componentes críticos; su pobre tenacidad. Como consecuencia de ello, la presencia de un defecto minúsculo, incluso en ocasiones por debajo del poder de detección de los métodos no destructivos, puede ser suficiente para provocar el fallo del componente. No es preciso recalcar que una mejora en este sentido es absolutamente necesaria antes de que estos materiales se valoren como una alternativa segura y fiable de los actuales. Los avances en esta área deben explorar los mecanismos de mejora de la tenacidad ligados a la microfisuración o a otros mecanismos no dependientes de la plasticidad.

En consecuencia, el gran desafío es el desarrollo de un material, muy posiblemente cerámico, ya que las condiciones de trabajo difícilmente son aceptables para los metálicos, capaz de operar a temperaturas del orden de 1400° C, sin refrigeración interna, y sin un riesgo inaceptable de que se produzca su rotura inesperada. Aunque sobre el papel esta alternativa aparece claramente formulada, su desarrollo en la práctica no parece ni mucho menos sencillo puesto que la gran fragilidad de los materiales cerámicos actuales impide su empleo en componentes críticos, sin tener que afrontar el riesgo de que se produzca su rotura inesperada en servicio. Las líneas de desarrollo se centran en torno a los materiales compuestos de matriz cerámica, como los SiC/SiC en los que resulta crucial profundizar tanto en la química de las intercaras fibra-matriz como en los precursores para la producción de fibras. La industria aeroespacial es la más interesada en el desarrollo de estos nuevos materiales ya que las prestaciones actuales de las turbinas de gas se hallan muy limitadas por la máxima temperatura de operación de las superaleaciones y la necesidad de protegerlas del calor obliga al uso de barreras térmicas o a practicar canales de refrigeración en el interior de los componentes, reduciendo su sección resistente y elevando su coste.

Recubrimientos y pinturas

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
12	Desarrollo de capas y recubrimientos inteligentes, resistentes al desgaste y a la corrosión, para aumentar la vida en servicio en componentes de materiales metálicos más de 2 veces su nivel actual.	3,63	2006-2010
14	Uso práctico de pinturas respetuosas con el medioambiente que doblen la capacidad de protección actual, con un 30 % de reducción de coste de aplicación.	3,54	2006-2010
13	Amplio uso de nuevos recubrimientos de "fricción cero" para mejorar el rendimiento de partes móviles.	3,50	2006-2010
11	Uso práctico de recubrimientos para barreras térmicas con una conductividad menor que 0,5 W/m ² K y alta tolerancia a las deformaciones térmicas y a la oxidación.	3,35	2006-2010

En la mayor parte de las aplicaciones el ciclo de vida útil de los materiales finaliza por el progresivo deterioro al que se exponen sus superficies. Las implicaciones económicas asociadas a la corrosión y al desgaste de los materiales, así como a las pérdidas inducidas por la fricción entre cuerpos en movimiento relativo, son enormes. A esto se debe sumar el hecho de que las superficies determinan el aspecto estético de los materiales y no pocas de sus funcionalidades. De ahí que las tecnologías asociadas a la ingeniería de superficies constituyan un elemento crítico en las aplicaciones del transporte y la energía. En consecuencia, dentro de esta área temática se han seleccionado aspectos relacionados con el aumento de vida en servicio, la reducción de pérdidas por rozamiento,

la problemática medioambiental de las pinturas y las barreras térmicas de altas prestaciones para el análisis prospectivo a través de la opinión de los expertos de materiales del país.

La materialización de los temas propuestos se realizaría entre el 2011 y el 2015, y entre ellos destaca por su mayor importancia el tema nº 12 que plantea duplicar la vida en servicio de los componentes metálicos actuales. La posición de España al respecto es superior a la media de nuestro entorno en todos los aspectos considerados, y los principales factores críticos para su logro serían el desarrollo de nuevo conocimiento o ciencia de materiales, seguido por la industrialización de los procesos desarrollados.

TEMA Nº 12: DESARROLLO DE CAPAS Y RECUBRIMIENTOS INTELIGENTES, RESISTENTES AL DESGASTE Y A LA CORROSIÓN, PARA AUMENTAR LA VIDA EN SERVICIO EN COMPONENTES DE MATERIALES METÁLICOS MÁS DE 2 VECES SU NIVEL ACTUAL

Posición de España (1^o a 4^o)

Factores críticos

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| • Capacidad C-T = 3 | • Conocimiento-Ciencia Materiales |
| • Aplicabilidad industrial = 3 | • Industrialización |

Se definen como capas inteligentes aquellos sistemas de recubrimientos estructurados que ofrecen una respuesta óptima a diferentes estímulos externos, reaccionando a las condiciones de contorno (temperatura, humedad, tensión o entorno que las rodea) de una manera selectiva.

En el área de los materiales, muchos de los fenómenos de degradación de los componentes metálicos durante su vida en servicio se deben a fenómenos complejos que incluyen mecanismos conjuntos de desgaste y de corrosión. La idea de una capa compuesta de un único material y con una única composición química y estructural es viable para fenómenos simples de desgaste o de corrosión en unas condiciones muy determinadas. En componentes cuyas condiciones de trabajo o de contorno pueden cambiar durante su vida en trabajo es muy difícil, por no decir imposible, solucionar el problema de degradación mediante la protección con un recubrimiento simple.

En este sentido, la posibilidad de aplicar recubrimientos inteligentes que se adapten a las condiciones de trabajo del componente en cada momento permitiría alargar considerablemente su vida en servicio. Este tipo de adaptación puede consistir en una variación de la composición química de la capa a lo largo de su espesor (recubrimientos gradientes funcionales) o bien en la presencia de diferentes fases de varios materiales en el recubrimiento, cada una con una fun-

ción determinada de acuerdo con las condiciones variables de trabajo (recubrimientos camaleónicos).

En ambos casos, la presencia de diferentes composiciones químicas y diferentes fases a lo largo del material del recubrimiento permite una multifuncionalidad no posible con recubrimientos simples. Ello hace que estos recubrimientos puedan ser denominados como inteligentes al reaccionar de forma diferente, interaccionando un componente u otro del recubrimiento, en función de las condiciones de trabajo.

Así, por ejemplo, la bibliografía más reciente avanza el desarrollo de capas inteligentes para la protección de turbinas industriales de gas (Univ. de Cranfield, Univ. de Birmingham, Difusión Alloy Ltd), combinando técnicas de recubrimiento de proyección por plasma y CVD (Chemical Vapour Deposition) con las se diseñan capas gradientes funcionales que forman láminas de alúmina para la protección a alta temperatura (900-1200 °C) pero que también forman láminas de óxido de cromo o de silicio para combatir la corrosión en caliente tipo II a temperaturas más bajas (650-800 °C).

Para finalizar con otro ejemplo, se citará al "US Air Force RL" que investiga en la aplicación por técnicas de PVD (Physical Vapour Deposition) de capas camaleónicas nanocompuestas, donde la presencia de diferentes fases con estructura nanométrica permite solucionar problemas de desgaste complejos como los que aparecen en los mecanismos espaciales. Esta capa inteligente incluye fases de material duro (carburo de tungsteno) para resistir el desgaste abrasivo, fases de material lubricante para desgaste en condiciones de vacío (bisulfuro de tungsteno) y fases de material lubricante para desgaste en condiciones de humedad (DLC). La inclusión de cada una de estas fases en una proporción determinada y con una estructura nanométrica permite combinar su propiedades y con ello obtener un recubrimiento camaleónico que se adapta a cada una de estas condiciones de trabajo.

Tecnologías de unión y otros procesos

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
15	Uso práctico de tecnologías de soldadura de materiales estructurales de altas prestaciones, que no disminuyan las propiedades de resistencia, tenacidad y fatiga.	3,59	2006-2010
18	Amplio uso de técnicas de ensayo no destructivo para evaluar la calidad inicial y la durabilidad de uniones mediante adhesivos.	3,53	2006-2010
19	Desarrollo de tecnologías capaces de producir un componente metálico de cualquier geometría, sin necesidad de molde.	3,53	2006-2010
16	Uso práctico de tecnologías inteligentes en todo tipo de soldadura con capacidad para el autodiagnóstico de la calidad de la unión y autocorrección del proceso en tiempo real.	3,38	2006-2010
17	Uso práctico de tecnologías de unión cerámica - metal resistentes a la fatiga térmica inducida por cambios repetidos de temperatura de 500 °C o más. (Hasta ahora por debajo de 400 °C).	3,32	2006-2010 y >2015

Aunque son muchos e importantes los procesos de interés relacionados con los materiales para el transporte y la energía, la unión entre componentes y materiales resulta clave en numerosos ámbitos de dichos sectores. Las tecnologías de unión facilitan la viabilidad de gran número de aplicaciones ya que gracias a ellas son factibles diseños y soluciones orientados a la reducción de peso, la factibilidad de estructuras complejas, la simplicidad de montaje, la reducción de costes y tiempos de desarrollo, la optimización de los procesos de fabricación, etc.

Dentro de este área, destaca por su mayor importancia el Tema 15 que desarrollamos a continuación. Su materialización ha sido prevista para el 2006-2010 y se considera que España se encuentra en una mejor posición que la media de los países europeos. Los retos principales corresponden al logro de mejoras en las propiedades de las uniones y a la industrialización de los procesos desarrollados.

TEMA Nº 15: USO PRÁCTICO DE TECNOLOGÍAS DE SOLDADURA DE MATERIALES ESTRUCTURALES DE ALTAS PRESTACIONES, QUE NO DISMINUYAN LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA, TENACIDAD Y FATIGA

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
<ul style="list-style-type: none">• Capacidad C-T = 3• Aplicabilidad industrial = 3	<ul style="list-style-type: none">• Mejora de propiedades• Industrialización

Las aplicaciones del transporte y la energía se inclinan con frecuencia hacia el uso de materiales estructurales de altas prestaciones por su potencial para disminuir peso y mejorar las prestaciones de los vehículos, o garantizar las mayores exigencias de diseño en las plantas de producción de energía.

Sin embargo, la unión de estos materiales en aplicaciones de alta responsabilidad, bajo sollicitaciones dinámicas, como por ejemplo la aeronáutica o los vehículos en general, no admite extrapolaciones de ámbitos y prácticas industriales consolidadas, y hace inviables las propuestas de unión soldada a pesar de su elevado potencial de mejora.

La estrecha vinculación entre solución de soldeo y la tría material-proceso-aplicación dificulta la generalización del análisis ante la profusión de nuevos materiales, posibles procesos y múltiples aplicaciones que pueden contemplarse al considerar las tecnologías de soldadura. Por lo tanto, a modo de ejemplo, nos ceñiremos al supuesto de los aceros de alta resistencia avanzados (AHSS: HSLA, Fase Dual, TRIP, Fase Compleja, ...).

Los nuevos aceros para construcción de muy alta resistencia, con buenas propiedades de tenacidad a la fractura y notable límite de fluencia, superior a los tradicionales aceros de construcción, basan estas propiedades en estructuras de muy pequeño tamaño de grano, precipitación de segundas fases, aceros con muy bajo nivel de inclusiones (clean steels), tratamientos térmicos o termomecánicos adecuados, en función –todo ello– de posibles composiciones químicas.

Toda unión por soldeo, dado el ciclo térmico inherente a la misma, puede inducir a modificaciones en las zonas afectadas por el calor (cambios microestructurales) conjuntamente con problemas derivados de la posible morfología del cordón, los microdefectos generados en la intercara y del espectro de tensiones residuales. Las aplicaciones dinámicas de componentes fabricados mediante soldeo con estos materiales pueden encontrarse con la desagradable sorpresa de ver perdidos todos los beneficios aportados por el metal de base si la unión no es capaz de garantizar un nivel equivalente de propiedades.

La consecución de procesos de soldeo, de ajuste de las variables de los mismos, o de operaciones posteriores que garanticen propiedades equivalentes a las del metal base, es un factor básico para la utilización de los materiales indicados.

La unión de materiales estructurales de altas prestaciones con otros materiales más comunes, o diferentes, que reduzcan costes o proporcionen ventajas como el aligeramiento de las estructuras, necesita ser explorada en mayor profundidad ante la tendencia actual al uso de multimateriales, pero demandará el desarrollo de nuevos criterios de aceptación y ensayo, la generación de datos y conocimiento, etc.

Finalmente, los desarrollos planteados deberán explorar los nuevos procesos en expansión como los láser; el FSW (friction stir welding), el ‘magnetic pulse welding’, el soldeo híbrido, etc

Materiales inteligentes

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
21	Desarrollo de materiales inteligentes con funciones de auto-diagnóstico y auto-reparación, que incorporan funciones sensoras, funciones programadas y funciones actuadoras.	3,77	2011-2015
20	Desarrollo de materiales inteligentes con capacidad de monitorización de vida <i>in situ</i> , para aplicaciones en plantas de generación de energía, estructuras de aviones, etc.	3,63	2006-2010

Los materiales inteligentes son materiales capaces de responder ante estímulos externos adaptando sus características a las solicitaciones del entorno. Son capaces de ‘sentir’ y ‘actuar’ en consecuencia, al integrar en el mismo material aspectos funcionales y estructurales.

El aumento de la funcionalidad de los materiales inteligentes con el objetivo de aumentar su autonomía (auto-diagnóstico, auto-reparación, auto-organización o auto-mantenimiento) abre nuevas perspectivas de aplicación en los sectores del transporte y la energía entre otros.

El estudio realizado interrogó a los expertos con dos temas desafiantes sobre materiales inteligentes capaces de auto-diagnosticarse, de auto-repararse o de monitorizar la vida

residual; de los que el Tema 21 fue valorado como el más importante del estudio mientras que el Tema 20 también fue considerado entre los más relevantes del mismo.

La materialización más tardía pronosticada al Tema 21 (2011-2015) hace suponer que se trata de una tecnología más emergente que la prevista en el Tema 20 supuestamente alcanzable en el período 2006-2010. La posición de España es más precaria en el primer caso que en el segundo, donde los expertos valoran la capacidad del país por encima de la media europea. En ambos casos se precisa desarrollar nuevo conocimiento científico-tecnológico en materiales, para poder alcanzar la previsión realizada. El coste y la industrialización son también críticos para este propósito.



TEMA Nº 21: DESARROLLO DE MATERIALES INTELIGENTES CON FUNCIONES DE AUTO-DIAGNÓSTICO Y AUTO-REPARACIÓN, QUE INCORPORAN FUNCIONES SENSORAS, FUNCIONES PROGRAMADAS Y FUNCIONES ACTUADORAS

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad C-T = 2 • Aplicabilidad industrial = 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento-Ciencia Materiales • Coste

Los seres vivos proporcionan –obviamente–, la mejor analogía de materiales inteligentes con funciones de auto-diagnóstico y auto-reparación. Esto que la naturaleza es capaz de hacer autónomamente, supone un reto descomunal ante el que, sin embargo, comienzan a surgir las primeras propuestas en forma de materiales que integran inteligencia, multifuncionalidad y autonomía.

La incorporación al material de estos nuevos conceptos permitirá, por ejemplo, el ‘curado’ de grietas y roturas en estructuras y componentes ubicados en lugares de difícil acceso para su reparación; o la recuperación de propiedades perdidas o modificadas involuntariamente por el uso; etcétera.

Algunas de las principales aplicaciones parecen encaminarse a medio plazo, al desarrollo de capacidades para la eliminación o minimización de la intervención humana en la reparación de materiales compuestos de matriz polimérica. Las tecnologías con más futuro en este campo incorporan agentes químicos de recuperación encapsulados o embebidos en el material, materiales de memoria de forma, y otros sistemas de autoreparación.

La tecnología más desarrollada hasta el momento es la de los agentes químicos embebidos en el material en forma de diminutas nano-porciones de un catalizador, situadas a intervalos de pocos nanómetros entre ellas. Estos “reparadores” diminutos actúan libremente en su propio radio de acción. Cuando encuentran una ruptura molecular, inician una reacción química que la sella deteniendo el proceso de deterioro o relantizándolo de forma significativa, dado el efecto auto-reparador del mismo.

TEMA Nº 20: DESARROLLO DE MATERIALES INTELIGENTES CON CAPACIDAD DE MONITORIZACIÓN DE VIDA IN SITU, PARA APLICACIONES EN PLANTAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA, ESTRUCTURAS DE AVIONES, ETC.

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad C-T = 3 • Aplicabilidad industrial = 3 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento-Ciencia Materiales • Industrialización, Coste

El monitorizado de la salud estructural es uno de los principales campos de investigación en el desarrollo de materiales inteligentes por su amplio potencial de aplicación en grandes infraestructuras y en vehículos de transporte, sobre todo aeroespacial.

La monitorización de vida in situ implica la posibilidad por parte del material de una auto-evaluación de su capacidad para realizar las funciones para las que ha sido diseñado, mediante la detección y el control continuo de la talla, la localización y el tipo de defecto o daño acumulado, y del nivel y ciclo de cargas que está siendo soportado por el mismo.

Con ello se persigue extender al máximo la vida de las estructuras, instalaciones y vehículos, aumentar la seguridad de uso y reducir los costes de mantenimiento predictivo y preventivo al reducir las paradas de control y evitar las sustituciones prematuras basadas en los tradicionales conceptos estadísticos de seguridad.

La incorporación de niveles progresivos de inteligencia implica a su vez, el desarrollo a escalas cada vez más pequeñas de sensores y actuadores que integrados en el material permiten, en combinación con otras técnicas, el logro de los objetivos propuestos. Los mecanismos de fallo que previsiblemente vayan a actuar (impacto, fatiga, desgaste, corrosión, etc.), determinan las soluciones a adoptar en cada caso y exigen el desarrollo de métodos innovadores de identificación del daño en tiempo real y de valoración in situ de la vida residual.

Nanomateriales

N°	TEMA	IGI	Fecha de materialización
24	Desarrollo de nanotecnologías para la obtención de materiales cerámicos, metálicos y poliméricos con propiedades estructurales y funcionales significativamente superiores a las actuales.	3,56	2011-2015
23	Uso práctico de materiales nano-compuestos orgánicos e inorgánicos con constituyentes del orden de las decenas a las centenas de Å.	3,40	2006-10 y 2011-15
22	Desarrollo de materiales compuestos de matriz orgánica reforzados con nanotubos.	3,13	2006-2010

La última década ha visto emerger imparablemente todo lo relativo a las nanotecnologías. El interés por los “nanomateriales” deriva de la idea de conseguir materiales con propiedades inusitadas partiendo de estructuras de dimensiones nanométricas (< 100nm). Baste por ejemplo, recordar la predicción (Service R.F., “New reaction promises nanotubes by the kilo”, *Science*, Vol. 290, nº5490, oct. 2000, pp 246-247) de que, caso de superar las barreras técnicas actuales, los materiales basados en nanotubos podrían alcanzar una resistencia 50 a 100 veces mayor que la del acero con un sexto de su peso.

Este enorme potencial de mejora se va confirmando en nuevas áreas y aplicaciones incrementando el interés y la importancia de los nanomateriales. Los ejemplos de uso potencial en los sectores del transporte y la energía son cada

vez más numerosos: acristalamientos de plástico autolimpiable que no se puede rayar; neumáticos que mejoran la adhesión y reducen el consumo, pinturas y recubrimientos más resistentes y duraderos, materiales de altas prestaciones, membranas y catalizadores, sensores, células fotovoltaicas, materiales para el almacenamiento de hidrógeno, etc. De los tres temas planteados dentro de esta área, los expertos han considerado el Tema 24 como el más relevante del conjunto. Su materialización tardía (2011-2015) va en consonancia con el carácter emergente del tema y exige el desarrollo de mayores conocimientos en ciencia de los materiales y en los procesos de elaboración de materia prima, en los que los expertos consideran que se dispone de una capacidad científico-tecnológica equivalente a la media de los países de nuestro entorno, pero una menor aplicabilidad industrial.

TEMA Nº 24: DESARROLLO DE NANOTECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS, METÁLICOS Y POLIMÉRICOS CON PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES SIGNIFICATIVAMENTE SUPERIORES A LAS ACTUALES

Posición de España (1 ^o a 4 ^o)	Factores críticos
• Capacidad C-T = 2	• Conocimiento-Ciencia Materiales
• Aplicabilidad industrial = 1	• Elaboración Materia Prima

La introducción de partículas, fibras u otros refuerzos de tamaño nanométrico en matrices cerámicas, metálicas y/o poliméricas permite obtener composites nanoreforzados. Estos nanomateriales junto con los materiales monolíticos obtenidos a partir de nanopartículas son nuevos materiales que están siendo intensamente investigados. Las mejoras estructurales previstas y algunas de ellas ya contrastadas como la mayor ductilidad de las cerámicas nanoestructuradas o la mayor dureza de ciertos plásticos nanoreforzados son algunos de los avances. En el terreno de las nuevas funcionalidades destacan las aportaciones en el campo de la nanobiotecnología con mejoras en la biocompatibilidad, bioactividad, etc. El hecho de estar trabajando en unidades de materiales de una o unas pocas capas atómicas dificulta el procesamiento de dichos materiales:

- Aumento del tamaño de grano durante el sinterizado.
- Mala mojabilidad de dichos nanoreforzos con las matrices.
- No alineamiento en el caso de nanofibras o nanotubos.
- Aglomeración de nanopartículas.

Estos son algunos de los retos técnicos en cuanto al procesamiento de estos materiales. Existen muchos otros derivados del trabajo con partículas tan pequeñas, como posibles problemas de salud o riesgo de contaminación desconocidos hasta el momento.

Por otro lado, la caracterización del material obtenido también presenta desafíos: los microscopios electrónicos de barrido, en muchas ocasiones no son capaces de trabajar a las magnificaciones necesarias para estas dimensiones. Por todo ello, se requiere poner a punto técnicas de TEM (Microscopio electrónico de transmisión) o AFM (Microscopio de fuerza atómica).

Una vez superados estos desafíos, los nanomateriales serán aplicables en nuevos sectores por sus nuevas prestaciones y superarán su introducción en los sectores actuales con propiedades ampliamente mejoradas.

Tanto el sector del transporte como el de la energía producen un gran impacto en problemas medioambientales de índole global y local, y, en consecuencia, incorporan criterios de sostenibilidad en sus prioridades estratégicas. Las emisiones de gases contaminantes responsables del efecto invernadero y de la polución en zonas urbanas, así como la reciclabilidad de los materiales en su fin de vida, son parte de los principales problemas que afectan a ambos sectores en este ámbito. Los dos Temas, 27 y 26, seleccionados por su relevancia por los expertos, reflejan bien las prioridades medioambientales en ambos sectores, sin menoscabo de otras estrategias (p.ej., la reducción de consumos mediante la mejora de las eficiencias, la diversificación hacia fuentes energéticas no contaminantes, etc.) orientadas al mismo fin pero cuyo tratamiento no corresponde a esta área.

Reciclado y medioambiente

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
27	Desarrollo de tecnologías de fijación de dióxido de carbono necesarias para la protección del medioambiente a escala global.	3,73	2011-2015
26	Aplicación de tecnologías de bajo coste para el reciclado del 100% de los materiales de los componentes de vehículos de transporte.	3,64	2006-2010
25	Uso práctico de plásticos biodegradables en componentes de vehículos.	3,41	2006-2010

La materialización de las tecnologías de fijación de CO₂ (Tema 27) exige una mayor profundización en las ciencias de los materiales y una reconsideración del impacto económico inducido por la aplicación de dichas tecnologías, por lo que no se prevé que se desarrollen hasta el período 2011-2015.

Por su parte, la reciclabilidad del 100% de los materiales (Tema 26) se propone para el período 2006-2010 con el reto principal de reducir los costes imputables a esta actividad y, en segundo lugar, el desarrollo de procesos de transformación adecuados a este fin.

En ambos temas, la posición de España es similar a la de los principales países de su entorno.

TEMA Nº 27: DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE FIJACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO NECESARIAS PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIOAMBIENTE A ESCALA GLOBAL

Posición de España (1- a 4*) Factores críticos

- Capacidad C-T = 2
- Conocimiento-Ciencia Materiales
- Aplicabilidad industrial = 2
- Coste

Actualmente, los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) proporcionan el 85% de la energía consumida en el mundo, pero contribuyen al 65% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. El dióxido de carbono es el gas de origen antropogénico que más contribuye al efecto invernadero y al mismo tiempo el más difícil de abordar debido precisamente a las grandes cantidades que se emiten y su estrecha relación con el desarrollo económico.

Son múltiples los factores que pueden individual y combinadamente permitir la reducción de los niveles de CO_2 , desde la reducción de los consumos de energía hasta la captación del gas emitido y su posterior almacenamiento; pero desde la perspectiva de la fijación del CO_2 nos centraremos en estos dos últimos aspectos.

La captación del CO_2 supone la separación selectiva del dióxido de carbono contenido en la mezcla resultante de combustión. Hoy en día se puede efectuar la captación tanto después de la combustión producida por medios tradicionales como antes de la misma mediante la gasificación del combustible y su conversión catalítica hasta obtener una mezcla de CO_2 y H_2 . De esta forma, el dióxido de carbono se captaría antes de la combustión definitiva del hidrógeno. Las tecnologías de captación empleadas son principalmente:

- Absorción mediante procesos químicos o físicos (alcanolaminas).
- Adsorción sobre la superficie de sólidos (zeolitas, carbón activado, ...) que permitan, en una segunda etapa, la reversión del proceso.
- Sistemas criogénicos, licuando o solidificando selectivamente el CO_2 .
- Membranas selectivas (materiales inorgánicos porosos, polímeros, zeolitas, membranas de paladio, ...) que permitan el paso de algunos gases permitiendo su separación.

Los principales problemas observados en estos métodos derivan del elevado gasto energético asociado a los mismos, así como de la degradación de reactivos en el primer caso, la capacidad de absorción en el segundo, o el rendimiento de las membranas. En este último caso, nos encontramos ante una tecnología emergente más desarrollada

para problemas líquido-líquido o sólido-líquido y en menor grado para el caso de gases, donde se requiere el desarrollo de nuevos materiales que hagan viable esta opción combinando prestaciones como alta selectividad y permeabilidad, y buena estabilidad mecánica a altas presiones y temperaturas.

En cuanto al almacenamiento final del CO_2 los sistemas que se están utilizando o ensayando en la actualidad se pueden clasificar en tres tipos:

- Almacenamiento en formaciones geológicas como reservas de crudo y gas, acuíferos salinos o, finalmente, reservas de carbón inutilizadas y que permitan la adsorción del gas sobre el carbón por desplazamiento, normalmente, del metano.
- Carbonatación de minerales, es decir, formación de carbonatos estables y benignos a partir de otros minerales, como la olivina y la serpentina, observándose una necesidad de desarrollo tecnológico que aumente los rendimientos de la reacción y reduzca los elevados requisitos energéticos en forma de elevadas presiones y temperaturas necesarias.
- Almacenamiento del dióxido de carbono en los océanos bien por inyección a elevadas profundidades almacenándose en forma líquida, o incluso sólida, en los fondos marinos, o bien incrementando la cantidad del gas que admite el océano de forma natural mediante la fertilización con micronutrientes que permitan la fijación del carbón por el fitoplancton.

TEMA Nº 26: APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE BAJO COSTE PARA EL RECICLADO DEL 100% DE LOS MATERIALES DE LOS COMPONENTES DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad C-T = 2 • Aplicabilidad industrial = 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste • Procesos de Transformación

Actualmente se generan en España en torno a 1,1 millones de VFU (Vehículos Fuera de Uso) de los cuales los turismos representan entre el 75 y el 80% de dichos vehículos. En términos de peso supone un total de 900.000 T/año de los cuales el 71% son metales férricos, el 5% son metales no férricos y el 24% restante está formado por plásticos, caucho, vidrio, textiles, equipos eléctricos, etc.

Para proceder al reciclado de los materiales se debe proceder inicialmente a retirar los aceites, combustibles, baterías, etc y posteriormente se lleva a cabo un proceso de triturado y separación de materiales. Tanto la fracción magnética como los metales no férricos (aluminio fundamentalmente y en mucha menor cantidad, cobre) se separan y reciclan en su práctica totalidad.

Sin embargo, queda un conjunto de materiales que supone aproximadamente 1/4 del peso del vehículo con una mezcla de plásticos y textiles (40%), caucho (30%), inertes (28%) y un 2% de metales no separados. Esta fracción podría emplearse como fuente de materias plásticas o bien por su poder calorífico puede utilizarse como combustible alternativo por ejemplo en cementeras o someterse a procesos de gasificación para obtener gases combustibles. No obstante, en la actualidad los procesos de separación no están lo suficientemente desarrollados para obtener a bajo coste fracciones más puras, por lo que en la práctica totalidad esta fracción ligera de los VFU se destina a vertedero, máxime siendo su precio en nuestro país hoy en día, inferior al de una separación adecuada.

Si actualmente el peso del vehículo que se recicla está en torno al 76%, y en cuanto a valorización energética puede haber en torno al 1% del peso total del vehículo, la actual Directiva 2000/53/CE de VFU tiene para el 1 de enero de 2006 un objetivo mínimo de reutilización y valorización del 85% (80% si se trata de reutilización y reciclado). Este objetivo se incrementa para el año 2015 hasta el 95% y 85% respectivamente. En este sentido, dado que la Directiva es de obligado cumplimiento, será necesario disponer de tecnologías que permitan la separación de los materiales presentes en la fracción ligera a un bajo coste.

Aunque a nivel internacional el problema de la fracción ligera de los VFU no está resuelto, existen desarrollos encaminados a minimizar el uso del vertedero, máxime cuando su coste, en torno a 100 €/T, es muy superior al de nuestro país (inferior a 40 €/T). Se ofertan en el mercado sistemas de separación de plásticos para la separación del PP y EPDM procedentes de parachoques (Tecnología Salyp-Itel) y que está abierto a la separación de otras fracciones plásticas. Sin embargo, el reto todavía por lograr es el de obtener fracciones de elevada pureza (99%) de materiales plásticos que permitan su reciclado como materia prima. La tecnología Gibros (Alemania) trata la fracción ligera de la fracción orgánica mediante un proceso de gasificación a alta temperatura con oxígeno obteniendo un concentrado de metales fundido y un residuo final en forma de vitrificado. Esta tecnología comienza a emplearse en Alemania y Holanda. Existen otros procesos de valorización energética que permiten recuperar la energía de los materiales de la fracción ligera como los procesos Thermoselect (Suiza), Termo-bath (Japón), SVZ (Alemania).

Modelización y cálculo

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
30	Amplio uso de métodos para predicción de vida a largo plazo de materiales estructurales, basado en el modelizado teórico cuantitativo del comportamiento de los materiales.	3,63	2006-2010
29	Uso práctico de modelos teóricos de diseño de materiales relacionando composición, estructura, parámetros de proceso y prestaciones finales.	3,55	2006-2010
28	Modelización precisa del comportamiento de materiales compuestos para componentes aerospaciales que proporcione a las autoridades certificadoras la confianza necesaria para aceptar sin excesivos ensayos, cambios en materiales y procesos.	3,52	2006-2010

La modelización y cálculo de materiales y procesos, es decir; la predicción de las propiedades y comportamientos de los materiales desde la escala molecular a la escala macroscópica, es una disciplina transversal que no cesa de crecer. El desarrollo de las capacidades de cálculo y de las tecnologías de la información y las comunicaciones en general, facilitan su aplicación a los nuevos desarrollos, al análisis y a la toma de decisiones, reduciendo significativamente los ensayos experimentales, los costes y los tiempos de desarrollo, y mejorando la calidad y las prestaciones, entre otros. Sus aplicaciones son múltiples, desde el diseño de nuevas moléculas y materiales átomo a átomo, hasta la simulación de procesos, la predicción de comportamientos o el prototipado y la realidad virtual.

La selección del Tema 30 entre los más relevantes, subraya la importancia de la predicción de vida a largo plazo tanto en los vehículos de transporte (principalmente aeronáutica) como en los sistemas de producción de energía. La capacidad científico-tecnológica en torno a este tema es vista al mismo nivel que la media de los países de nuestro entorno, pero la aplicabilidad industrial es percibida por encima de este media. Su materialización ha sido pronosticada para el período 2006-2010 y exigirá, fundamentalmente, profundizar en el conocimiento y ciencia de los materiales.

TEMA Nº 30: AMPLIO USO DE MÉTODOS PARA PREDICCIÓN DE VIDA A LARGO PLAZO DE MATERIALES ESTRUCTURALES, BASADO EN EL MODELIZADO TEÓRICO CUANTITATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
<ul style="list-style-type: none">• Capacidad C-T = 2	<ul style="list-style-type: none">• Conocimiento-Ciencia Materiales
<ul style="list-style-type: none">• Aplicabilidad industrial = 3	<ul style="list-style-type: none">• Industrialización

El lógico deseo de extraer las máximas prestaciones posibles de una estructura o componente pero sin caer en un riesgo inaceptable de que se produzcan fallos inesperados, ha inducido el desarrollo de nuevos métodos para predecir su vida en servicio. Es evidente que estos métodos deben poseer una precisión suficiente para poder conocer con antelación, incluso en la fase de diseño, la vida que es capaz de ofrecer un determinado componente, fabricado con un material dado, y de esta forma, poder optar por construirlo con dicho material u otro alternativo. Para ello, deben evaluar el efecto que en términos de generación y propagación del daño pueda tener cualquier circunstancia, carga y/o temperatura y/o combinación en el tiempo de ambas, a lo largo de su vida. Dichos métodos dimensionan los componentes y son también responsables de las pautas de inspección en la vida de los mismos, por lo que deben minimizar su número al tiempo que garantizan la detección del peligro de fallo antes de que éste se produzca. Los métodos de predicción de vida tienen, por tanto, un impacto elevado en términos de costes, tanto unitarios como de operación. Existen diversas posibilidades para alcanzar este objetivo. La primera es el ensayo de un prototipo idéntico al componente real. No es necesario señalar que este método resulta totalmente inviable o a un coste prohibitivo en la gran mayoría de las situaciones. Otra posibilidad es el ensayo de modelos a escala pero este método, además del coste del modelo, presenta el riesgo de que las solicitaciones que soportan modelo y componente no sean equiparables.

La tercera, y la más lógica, es el modelizado teórico del comportamiento en servicio. Para ello se parte del conocimiento de las propiedades de los materiales y de las solicitaciones que soportará el componente en operación, y se predice el grado de deterioro que va sufriendo conforme se incrementa su tiempo de trabajo y cuándo éste llegará a un nivel crítico. La complejidad de los estados de carga-temperatura a los que están sometidos los componentes, por ejemplo en el entorno de las turbinas de gas, hace que en ausencia de modelos "universales", la validación de resultados procedentes de los métodos requiera de la realización de ensayos representativos. Esta circunstancia tiene serias implicaciones. En primer lugar, los mismos son complejos y por tanto, costosos. Además los resultados así obtenidos tienen una validez limitada ya que su existencia no permite estimar vidas basándose únicamente en "extrapolaciones". No obstante, la parte experimental es mucho menor que la exigida por cualesquiera de los métodos anteriores.

El mayor reto que hay que afrontar en esta labor es conseguir un adecuado grado de precisión en las predicciones de vida pues, caso contrario, el trabajo se saldaría con un fracaso. Resulta evidente que un error bien en los datos de partida, bien en el método de cálculo, conducirían a un resultado erróneo. Es por ello que la búsqueda de modelos de predicción más precisos que incorporen un profundo conocimiento de las relaciones estructura-propiedad de los materiales en un amplio rango de condiciones de trabajo, resulta un requisito imprescindible para la consecución de la meta deseada. Igualmente, resulta crítico para el éxito de la predicción la disponibilidad de datos fiables y precisos sobre las cinéticas de transformación de las microestructuras de los materiales, etc., que exigen el desarrollo previo de costosas campañas experimentales, la estandarización de los procedimientos de recogida, análisis y validación de los datos, etc.

Energía fotovoltaica

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
33	Uso práctico de células solares de capa fina de gran superficie (>1.000 cm ²) de calcopiritas con una eficiencia de conversión de más del 20%.	3,57	2011-2015
34	Amplio uso de células de silicio cristalino con eficiencias de conversión superiores al 25%.	3,31	2006-2010
31	Uso práctico de células solares multicapa con una eficiencia de conversión de más de un 40%.	3,27	2006-10 y 2011-15
32	Uso práctico de células solares de gran superficie (>1.000 cm ²) de silicio amorfo con una eficiencia de conversión de más del 18%.	3,19	2006-2010

La energía solar fotovoltaica es una energía 'limpia' que contribuye de forma creciente a la demanda de energía. Los condicionantes medioambientales y las estrategias de diversificación energética continuarán impulsando el aprovechamiento de esta fuente inagotable de energía que, sin embargo, debe superar dos grandes obstáculos –alto coste y baja eficiencia–, para alcanzar su madurez.

En el presente estudio se ha sondeado a los expertos sobre el horizonte futuro de las principales familias de células fotovoltaicas propuestas en la actualidad. Se perfila con claridad la relevancia del Tema 33 que pronostica la realización de células solares de capa fina de gran superficie y eficiencia superior al 20% para el período 2011-2015. España partiría en la actualidad con una buena posición científica y buena aplicabilidad industrial para superar los principales factores críticos del tema: la industrialización y el conocimiento de materiales y sus procesos de transformación.

TEMA Nº 33: USO PRÁCTICO DE CÉLULAS SOLARES DE CAPA FINA DE GRAN SUPERFICIE (>1000CM²) DE CALCOPIRITAS CON UNA EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DE MÁS DEL 20%.

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad C-T = 2-3 • Aplicabilidad industrial = 3 	<ul style="list-style-type: none"> • Industrialización • Conocimiento-Ciencia Materiales, Procesos de Transformación

El desarrollo y la aplicación de la energía solar fotovoltaica depende directamente y en gran manera de la reducción de los costes de los dispositivos fotovoltaicos. Las tecnologías de lámina delgada representan una alternativa real para lograr esta meta y sus módulos son unos candidatos potenciales para el suministro de electricidad a través de grandes plantas de potencia. Además esta tecnología es especialmente conveniente para la integración en edificios debido a la facilidad

para fabricar los módulos sobre sustratos flexibles o conformados, que se pueden adaptar sin dificultad a fachadas y tejados. La penetración de la tecnología fotovoltaica en lámina delgada en estos mercados se debe conseguir mediante la implantación de estrategias de producción que conduzcan a bajo coste para la generación de electricidad fotovoltaica. Estas estrategias están directamente relacionadas con la mejora en los materiales, tanto en la utilización de los mismos, como en la simplificación y el aumento de velocidad de sus procesos de preparación para grandes áreas.

La tecnología basada en materiales calcopiritas como el sulfuro-seleniuro de cobre indio y galio (CuInGaSSe), CIS o CIGS, además de las altas eficiencias conseguidas en células de laboratorio, 18,9%, no presenta problemas de estabilidad hasta el momento. Las ventajas más importantes de estos dispositivos calcopiritas son: la utilización de capas muy finas ($< 1 \mu\text{m}$) con la capacidad de conseguir dispositivos del 20% de eficiencia y con estabilidad demostrada en módulos incluso en aplicaciones espaciales. Además, esta tecnología hace uso de procesos con gran potencial industrial. El inconveniente principal que presenta esta tecnología es el rendimiento de los procesos de producción. El reto es desarrollar procesos de producción que permitan obtener materiales activos en términos de uniformidad composicional y eficiencia con posibilidad de ser industrializados con elevados rendimientos de producción. Para conseguir estos objetivos se considera prioritario el diseño y desarrollo de procesos de preparación adecuados y la incorporación de técnicas "in-situ" capaces de controlar los parámetros del proceso de producción tales como la velocidad, la uniformidad, la temperatura, etc.

Los objetivos a medio-largo plazo deberían ser:

1. El conocimiento de los aspectos científicos sobre materiales y dispositivos
2. La necesidad de aumentar las áreas de los módulos y acercar las diferencias entre la eficiencia de células de laboratorio y la de los módulos fotovoltaicos
3. La utilización de materias primas que no tengan un impacto ambiental negativo
4. El desarrollo de dispositivos de lámina delgada sobre sustratos flexibles, y de módulos fotovoltaicos sobre sustratos cerámicos para su integración en fachadas de edificios.
5. El desarrollo y validación de nuevas tecnologías en lámina delgada con mayor eficiencia y menor coste de producción
6. El desarrollo de células solares con nuevos y/o prometedores conceptos: células de tercera generación, células tandem, uniones túnel, etc

Objetivos que están directamente relacionados con el desarrollo de tecnologías de producción a gran escala capaces de fabricar módulos fotovoltaicos más baratos y con diversidad de aplicaciones.

Células de combustible y vector hidrógeno

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
36	Uso práctico de nuevas membranas poliméricas de mayor eficiencia y menor coste que las actuales (polímero perfluorosulfonato , etc.), para células de combustible PEM.	3,76	2006-2010
35	Uso práctico de nuevos materiales cerámicos con elevadas prestaciones funcionales y bajo coste para células de combustible estacionarias en producción de energía.	3,68	2006-2010
37	Aplicación de hidruros avanzados y nanotubos para almacenamiento y distribución de hidrógeno.	3,67	2006-2010
38	Uso práctico de procesos de producción de hidrógeno a partir de la descomposición del agua con procesos fotoelectroquímicos avanzados.	3,55	2006-2010

Las células de combustible son dispositivos electroquímicos que transforman la energía química de un combustible (generalmente H_2) en electricidad y agua, con un elevado rendimiento (>50%) y sin emisión de contaminantes

El desarrollo de las células de combustible se ve como uno de los principales medios para combatir en el futuro la presión medioambiental a la que nos somete la dependencia de los combustibles fósiles y también como una solución a su agotamiento.

Las células de combustible se proponen, fundamentalmente, para reemplazar a los motores de combustión interna y para la generación estacionaria de energía, pero no se descarta su uso en otros dispositivos y aplicaciones. Sus ventajas teóricas son enormes: mayor eficiencia de conversión que los motores de combustión, 'cero' o muy baja emisión (según el combustible de partida) de gases contaminantes, flexibilidad en el combustible, y ausencia de ruido.

Aunque no sea imprescindible, el desarrollo de las células de combustible va estrechamente ligado al desarrollo de la 'economía del hidrógeno'. El uso de este combustible como me-

dio para almacenar y transportar energía —el llamado *vector hidrógeno*—, ofrece una solución a la sustitución de los combustibles derivados del petróleo, a problemas como las fluctuaciones de suministro en las energías renovables, etc. Sin embargo, su producción, almacenamiento y distribución plantea numerosos problemas y desafíos. De hecho, se suele admitir que el principal problema para la aplicación de las células en automoción no es la propia célula sino el combustible (H_2). Ante la imposibilidad de interrogar sobre todas las incógnitas de futuro que se suscitan entorno a esta área, el Panel de Expertos sugirió un selección de aquellos temas que consideró más interesantes. De los cuatro temas planteados, los expertos han considerado a tres de ellos entre los más relevantes del estudio, los Temas 36, 35 y 37, en este orden. Todos ellos prevén su materialización para el 2006-2010 y en todos ellos se supone un posicionamiento de España igual al de la media de los países de nuestro entorno. El principal factor crítico a superar es el desarrollo de conocimientos en ciencias de los materiales seguido de la industrialización y, en el Tema 35, de la mejora de propiedades.

TEMA Nº 36: USO PRÁCTICO DE NUEVAS MEMBRANAS POLIMÉRICAS DE MAYOR EFICIENCIA Y MENOR COSTE QUE LAS ACTUALES (POLÍMERO PERFLUOROSULFONATO, ETC.), PARA CÉLULAS DE COMBUSTIBLE PEM

Posición de España (1 ^o a 4 ^o)	Factores críticos
• Capacidad C-T = 2	• Conocimiento-Ciencia Materiales
• Aplicabilidad industrial = 2	• Industrialización

Las células de combustible de membrana polimérica, también llamadas de membrana de intercambio de protones (PEM: *Polymer Electrolyte Membrane* ó *Proton Exchange Membrane*) están constituidas básicamente por dos electrodos de carbono poroso entre los que –a través de un catalizador de platino–, se interpone una membrana polimérica que, combinada con agua, actúa como electrolito sólido dejando pasar los iones de hidrógeno desde el ánodo hasta el cátodo.

La naturaleza del electrolito utilizado en una célula determina el tipo de combustible y oxidante a utilizar y la temperatura de funcionamiento de la misma. Las células PEM funcionan a baja temperatura (60 a 100°C), con H₂ puro y aire sin monóxido de carbono, y pueden generar densidades de potencia elevadas, adaptándose a un amplio rango de aplicaciones estacionarias y no-estacionarias (de 1 W a 250 kW), como aparatos portátiles, vehículos y pequeños sistemas estacionarios.

Sus características se adaptan particularmente bien a las aplicaciones de automoción, por lo que, desde la última década, este sector ejerce como el gran tractor de su desarrollo. Este impulso se debe fundamentalmente a dos avances tecnológicos: la reducción de la carga de platino del catalizador (comentado más adelante en el Tema 43) y el aumento de la densidad de potencia de las membranas, lo que a su vez ha conducido a una disminución espectacular del coste de las células para aplicaciones de automoción.

Así, si hace unos años el coste de una célula (stack) se situaba en el entorno de los 5.000 € por kW, hoy en día el coste de todo el sistema de potencia con célula de combustible (stack, reformador y controles asociados) se sitúa en torno a los 300 €/kW, pero el reto asumido por los grandes fabricantes de automoción rebaja esta cifra hasta los 50 €/kW en la hipótesis de su producción a gran escala (coste actual de un motor de combustión interna ~15 €/kW). Una de los aspectos críticos para alcanzar este objetivo es el desarrollo de todos los componentes del conjunto membrana-electrodo (Membrane-Electrode Assembly, MEA), lo cual requiere a su vez trabajar en el desarrollo de nuevas membranas para asegurar una alta eficiencia a un bajo coste.

La posibilidad de operar a mayor temperatura que la actual (~80°C), aliviando el efecto adverso del CO sobre el catalizador e incrementando las cinéticas de reacción, abre una importante vía al desarrollo de las membranas y a la reducción de la talla y del coste de las células. A las temperaturas propuestas (> 120°C), los nuevos materiales deben garantizar una buena estabilidad que minimice su degradación térmica, y asegurar una elevada conductividad protónica manteniendo un adecuado grado de hidratación o a través de mecanismos alternativos de transporte de protones.

Las líneas de investigación que, en la actualidad se exploran en esta dirección, abarcan el desarrollo de diversas familias de polímeros sulfonados (BPS, PPBP, PBI, PEEK, ...), el desarrollo de membranas inorgánicas con nanopartículas de óxidos porosos y otras composiciones más complejas basadas en fósforo, y/o el de membranas híbridas polímero-inorgánicas.

TEMA Nº 35: USO PRÁCTICO DE NUEVOS MATERIALES CERÁMICOS CON ELEVADAS PRESTACIONES FUNCIONALES Y BAJO COSTE PARA CÉLULAS DE COMBUSTIBLE ESTACIONARIAS EN PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad C-T = 2 • Aplicabilidad industrial = 2-3 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento-Ciencia Materiales • Mejora de propiedades. Industrialización

De entre los distintos tipos de células de combustible las denominadas de óxido sólido, SOFC (*Solid Oxide Fuel Cells*), se perfilan como las más apropiadas para aplicaciones estacionarias por su elevada eficiencia de conversión de energía (50-60%). La alta temperatura de funcionamiento (~1000 °C) hace innecesarios los costosos catalizadores de metales nobles y aumenta la tolerancia a los diversos contaminantes derivados de los combustibles que pueden utilizar. En contrapartida, la vida de los materiales en estas condiciones de trabajo disminuye.

Las células de óxido sólido utilizan como electrolito compuestos cerámicos no-porosos (típicamente zirconia estabilizada con ytria, YSZ) que actúan como conductores iónicos de oxígeno a través del movimiento térmicamente activado de las vacantes de este elemento. Por su parte, los electrodos están constituidos de materiales cerámicos porosos del tipo Ni-ZrO₂ (ánodo) y LaMnO₃ dopada con Sr ó Mg (cátodo).

El desarrollo de nuevas células SOFC que puedan funcionar a temperaturas intermedias (500 a 800 °C) requiere nuevos materiales cerámicos de elevada conductividad iónica (tipo ceria-Gd) que sustituyan a los electrolitos utilizados a más altas temperaturas, así como la optimización de los materiales porosos utilizados en los electrodos. Además, la reducción del espesor de la capa del electrolito con el fin de reducir las pérdidas orienta numerosos trabajos hacia el desarrollo de nuevas técnicas de deposición de bajo coste capaces de depositar recubrimientos de calidad con espesores del orden de las micras.

TEMA Nº 37: APLICACIÓN DE HIDRURROS AVANZADOS Y NANOTUBOS PARA ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HIDRÓGENO

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad C-T = 2 • Aplicabilidad industrial = 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento-Ciencia Materiales • Industrialización

El uso del hidrógeno como vector energético para el transporte y las aplicaciones móviles en general, depende en gran medida del desarrollo de tecnologías eficientes de almacenamiento y distribución del mismo. La falta de un medio adecuado para el almacenamiento y distribución de este elemento puede suponer un importante obstáculo para el desarrollo de una economía basada en el hidrógeno.

En principio, el hidrógeno puede ser almacenado –a través de diversas tecnologías– en forma de gas, de líquido o de compuestos químicos. Todas las alternativas disponibles poseen ventajas e inconvenientes, aunque algunas se adaptan mejor que otras a las aplicaciones móviles. El peso y el volumen necesarios para almacenar una cantidad suficiente de hidrógeno que iguale la autonomía actual de los vehículos supone uno de los principales obstáculos.

A pesar de su elevada relación peso/volumen, los hidruros metálicos ofrecen un importante potencial para el almacenamiento del H₂ y su uso en seguridad en las aplicaciones del transporte. En estos materiales el hidrógeno se combina con el metal de forma reversible o irreversible. Durante su consumo, basta calentar el hidruro por encima de una determinada temperatura para desprender el H₂. Si el almacenamiento es irreversible, al agotarse el combustible se deberá renovar todo el material. Si, por el contrario, este es reversible podrá recargarse re-alimentándolo con H₂.

La energía necesaria para el desprendimiento del hidrógeno y, sobre todo, el tiempo empleado para recargar el hidruro con H_2 , son dos aspectos más a considerar en los desarrollos de estos materiales. Por ejemplo, los hidruros de metales ligeros que resultan competitivos en relación al peso, necesitan varias horas para efectuar la recarga, lo que lleva a reconsiderar su uso práctico.

El desarrollo de nuevos hidruros para el almacenamiento y distribución de hidrógeno avanza explorando nuevas formulaciones de metales ligeros [AlH_3 , $Mg(AlH_4)_2$, $Mg(BH_4)_2$, $Al(BH_4)_3$, ...] y otros materiales, así como nuevas rutas de preparación para conseguir materiales con mayor capacidad de absorción, por ejemplo mediante la generación de estructuras nanocristalinas, materiales nanoporosos, etc.

En resumen, la capacidad de almacenamiento de los hidruros muestra una gran sensibilidad a la contaminación por sustancias como el agua, el oxígeno, el nitrógeno o los compuestos sulfurados.

La posibilidad de que, bajo ciertas condiciones, el hidrógeno pueda ser guardado en estructuras carbonosas como los nanotubos de carbono abre otra importante alternativa para el almacenamiento del hidrógeno. No obstante, el gran potencial que se les supuso hace unos años no ha sido aún confirmado, por lo que, a falta de nuevas investigaciones, el perfil de las expectativas generadas ha sido reducido considerablemente.

Almacenamiento y transporte de energía (no-vector H₂)

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
40	Uso práctico de materiales superconductores con una temperatura de trabajo igual o mayor a la del nitrógeno líquido (77 °K).	3,65	2011-2015
39	Amplio uso de baterías secundarias (Ni-MH, Li, etc.) de alta densidad de energía (200 Wh/kg: 5 veces la densidad de energía de plomo-ácido convencionales) y bajo coste, para vehículos a motor.	3,64	2006-2010
41	Uso práctico de materiales poliméricos con una conductividad eléctrica igual a la del cobre a temperatura ambiente, y buen comportamiento medioambiental.	3,38	2011-2015

En esta área se hace referencia a otros medios de almacenamiento y transporte de energía diferentes del vector hidrógeno, y en particular, se abordan aspectos relativos a baterías secundarias, conductores y superconductores.

De los temas planteados, la opinión de los expertos ha situado al Tema 40 relativo a los superconductores de alta T_c, y al Tema 39 sobre baterías de alta densidad de energía entre los 20 más relevantes del estudio. Su materialización se produciría en el período 2011-2015 para el primer caso y en el 2006-2010 en el segundo.

El mayor obstáculo para el desarrollo de los superconductores estaría en la industrialización seguido de lejos por la necesidad de aumentar el conocimiento en ciencias de los materiales y procesos de transformación. La capacidad científico-tecnológica sería equivalente a la media europea y la aplicabilidad industrial estaría por debajo de ésta.

En el Tema 39 las máximas dificultades se expresan en el desarrollo de conocimientos de materiales y en la reducción de costes, pero la posición de España es vista como superior a la media de los países de su entorno.

TEMA Nº 40: USO PRÁCTICO DE MATERIALES SUPERCONDUCTORES CON UNA TEMPERATURA DE TRABAJO IGUAL O MAYOR A LA DEL NITRÓGENO LÍQUIDO (77 °K)

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad C-T = 2 • Aplicabilidad industrial = 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Industrialización • Conocimiento-Ciencia Materiales, Procesos de Transformación

Los materiales superconductores se distinguen por dos sorprendentes propiedades descubiertas a principios del pasado siglo: por debajo de una temperatura crítica carecen de resistencia eléctrica y, en este estado, el material expulsa al exterior todo campo magnético, por lo que no pueden ser atravesados por él.

Inicialmente la temperatura crítica para alcanzar la superconductividad estaba próxima al cero absoluto, lo que dificultaba su aplicación práctica que quedó circunscrita a la esfera de la muy alta tecnología.

El descubrimiento, a finales de los 80, de los superconductores de "alta temperatura", de la familia de los óxidos de cobre, como los $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ($T_c \approx 90^\circ\text{K}$), abrió el campo de aplicación al reducir los costes de enfriamiento por un factor superior a 1000.

Las dificultades de producción de cables y materiales masivos, con las propiedades adecuadas, uniformemente distribuidas, y a un coste razonable, frenó las expectativas mundiales, aunque la apuesta japonesa por el tema ha ido dando sus frutos y, recientemente (2001), se ha visto recompensada por el descubrimiento de un nuevo material superconductor por debajo de los 39°K , el MgB_2 , que, dada su mejor procesabilidad, ha relanzado el interés por la superconductividad.

Las investigaciones continúan tanto en la búsqueda de nuevas formulaciones y materiales de 'alta temperatura crítica', como en el desarrollo de precursores y de procedimientos ventajosos de fabricación industrial de cables y bandas superconductoras cada vez más largos y con mayores prestaciones, o el desarrollo de circuitos superconductores con prestaciones excepcionales para la microelectrónica

Las aplicaciones que se proponen son múltiples y van desde los cables para el transporte sin pérdidas de energía eléctrica, los generadores y transformadores, a las suspensiones magnéticas, el almacenamiento de energía, la electrónica y las comunicaciones, las aplicaciones en medicina, etc.

TEMA Nº 39: AMPLIO USO DE BATERÍAS SECUNDARIAS (Ni-MH, LI, ETC.) DE ALTA DENSIDAD DE ENERGÍA (200 WH/KG: 5 VECES LA DENSIDAD DE ENERGÍA DE PLOMO-ÁCIDO CONVENCIONALES) Y BAJO COSTE, PARA VEHÍCULOS A MOTOR

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
• Capacidad C-T = 3	• Conocimiento-Ciencia Materiales
• Aplicabilidad industrial = 3	• Coste

Las baterías son un elemento crítico para los vehículos de combustión interna. Las baterías de plomo-ácido satisfacen las necesidades de los automóviles actuales, pero las demandas crecientes de energía y, ante todo, la introducción de sistemas alternativos de propulsión avanzada (vehículos híbridos, eléctricos, o con células de combustible) exige el desarrollo de baterías secundarias (recargables) de alta densidad de energía y bajo coste, capaces de satisfacer los requisitos de las nuevas gamas de vehículos.

El desarrollo de las baterías de Ni-MH (níquel-metal hidruro) y sobre todo las baterías de ión litio han aumentado significativamente la capacidad de almacenamiento de las mismas. Las baterías de Ni-MH doblan la densidad de energía de las de plomo-ácido, mientras que las de ión litio la triplican. Estas últimas son, además, más ligeras, lo que les propone como la principal alternativa de futuro si se supera la barrera del coste.

Las investigaciones actuales se orientan hacia la sustitución del gel electrolito por electrolitos de membrana polimérica que permiten la fabricación de baterías más compactas, robustas y seguras, aunque, hoy en día, mucho más caras y con una menor duración de vida. La búsqueda de electrodos más baratos es otra tema de desarrollo.

Catálisis

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
44	Uso práctico de procesos catalíticos a baja temperatura para la producción de hidrógeno directamente a partir del metano.	3,73	2006-2010
43	Uso práctico de nuevos catalizadores de menor coste y eficiencia equivalente o superior a la del platino para células de combustible PEM.	3,67	2011-2015
45	Uso práctico de catalizadores de alta eficiencia mediante el control de su nano-estructura (2-50 nm).	3,57	2006-2010
42	Uso práctico de métodos computacionales de diseño de materiales para catalizadores sólidos con requisitos de composición, organización y propiedades físicas.	3,30	2006-2010

A pesar de que la naturaleza de los fenómenos catalíticos no es completamente conocida, la catálisis juega un papel determinante en numerosos procesos. Por ceñirnos sólo al transporte y la energía se citará su intervención en: la reducción de las emisiones de gases contaminantes, las células de combustible, la producción de hidrógeno y otros combustibles convencionales, etc.

El desarrollo de nuevos catalizadores más selectivos, estables y con mayor actividad, que, en definitiva, mejoren la eficiencia de los procesos en los que intervienen es un objetivo fundamental para la reducción de costes, la mejora de impactos en el medioambiente y, con frecuencia, para la viabilidad práctica de los citados procesos.

En opinión de los expertos consultados, tres de los cuatro temas planteados han sido valorados entre los más relevantes del estudio. Se trata, por orden, de los Temas 44, 43 y 45. La producción de hidrógeno a partir del metano a baja temperatura, Tema 44, demandaría sobre todo la superación de

los problemas técnicos derivados del paso del laboratorio a la escala industrial, seguido de un mayor desarrollo de conocimientos de materiales. Su materialización se pronostica para el 2006-2010.

La materialización del Tema 43 supone la sustitución de los catalizadores de platino en las células PEM, y no se prevé hasta el período 2011-2015. El conocimiento de materiales y la industrialización son los principales aspectos críticos en este caso.

El Tema 45 se materializará, en opinión de los expertos, en el 2006-2010 y demanda un mayor dominio de los materiales y una mejora de los procesos de obtención de materia prima y de propiedades.

En los tres temas la posición de España es equiparable a la de su entorno europeo en cuanto a capacidad científico-tecnológica e, incluso, superior a su entorno en aplicabilidad industrial en el caso de los temas 44 y 43.

TEMA Nº 44: USO PRÁCTICO DE PROCESOS CATALÍTICOS A BAJA TEMPERATURA PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO DIRECTAMENTE A PARTIR DEL METANO

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
<ul style="list-style-type: none">• Capacidad C-T = 2• Aplicabilidad industrial = 3	<ul style="list-style-type: none">• Industrialización• Conocimiento-Ciencia Materiales

A pesar de que el hidrógeno es el elemento más abundante del universo, no existe como elemento puro en la tierra, lo que obliga a su producción a partir de otros compuestos más o menos ricos en este elemento. Básicamente se recurre a tres alternativas: los combustibles fósiles, el agua y la biomasa; de las que la primera constituye la principal fuente de obtención de H₂ en la actualidad (~95%). El principal método de producción es el reformado con vapor de agua (SR) pero las ventajas de los procesos catalíticos a baja temperatura orientan los esfuerzos de investigación en este sentido. La producción de H₂ vía descomposición térmica del metano presenta varias ventajas sobre el método convencional de reformado con vapor de agua: mayor simplicidad; menores costos (de inversión y de operación); no se produce CO durante el proceso, por lo que la obtención del H₂ de alta pureza (<5ppm CO) requerido para células de combustible es mucho más simple y económico; es el único proceso de producción de hidrógeno basado en combustibles fósiles que permite una producción real completamente libre de emisiones de CO₂ (utilizando aproximadamente el 14% del propio H₂ como combustible).

La descomposición térmica, DT, puede llevarse a cabo a muy alta temperatura (>1500°C) mediante el uso de plasmas (PD), o por vía catalítica, DTC, a temperatura entre 650 y 850°C; siendo el balance energético y la emisión global de CO₂ (considerando la emisión inherente a la producción de energía eléctrica para el plasma) netamente favorable a la DTC.

Desde el punto de vista de su utilización industrial la DT/DTC puede aplicarse en dos direcciones:

1. Producción de Hidrógeno y Carbono de alta pureza.
2. Integración en los ciclos productivos de la Industria Metalúrgica y/o en Estaciones de Producción de Energía Eléctrica.

En el primer caso se produce exclusivamente hidrógeno de alta pureza (CO<5ppm) adecuado para el uso directo en células de combustible de polímero sólido, SPFC o PEMFC, cuya utilización para la motorización de automóviles está ya técnicamente probada y puesta a punto. Los moles de CO₂ por mol de H₂ producido mediante DTC son 0,0, 0,5 ó 0,12, según se utilice hidrógeno, gas natural o carbono como combustible del proceso. Frente a estos se sitúan los 0,34 moles emitidos por el SR convencional, los 0,25 en el caso de que el SR se realice con secuestro de CO₂, los 0,45 de la DT mediante PD, y los 0,73 y 1,14 mediante electrolisis del agua dependiendo de que la electricidad se produzca en un ciclo combinado con gas natural o a partir de carbón.

La utilización del C producido es de primordial interés en esta tecnología ya que su venta ha de pagar parte del costo del hidrógeno. Además de las áreas tradicionales de utilización del carbono en forma de hollín, grafito, coque, etc (para pigmentos, electrodos, reductores y otros), los materiales carbonosos pueden usarse en nuevas áreas como la producción de fibras, plásticos, composites, carburos metálicos, etc; pero, además, su uso potencial como material absorbente para el almacenamiento de hidrógeno completaría el ciclo de producción y almacenamiento del mismo.

La segunda alternativa supone la integración de la DT/DTC en otros ciclos productivos con objeto de buscar una sinergia que dé valor añadido a los productos obtenidos: producción de SiC (proceso Kvaerner), producción de metanol por reacción catalítica del H₂ con el CO₂ producido en centrales de generación de energía eléctrica (proceso Carnol), etc.

Tal como fue señalado por los expertos, el principal reto de estas tecnologías es su paso a la industrialización, para muy grandes volúmenes de producción.

TEMA N° 43: USO PRÁCTICO DE NUEVOS CATALIZADORES DE MENOR COSTE Y EFICIENCIA EQUIVALENTE O SUPERIOR A LA DEL PLATINO PARA CÉLULAS DE COMBUSTIBLE PEM

Posición de España (1- a 4+)	Factores críticos
• Capacidad C-T = 2	• Conocimiento-Ciencia Materiales
• Aplicabilidad industrial = 3	• Industrialización

Este Tema está estrechamente ligado y complementa el Tema 36 comentado anteriormente. Tal como se avanzaba, los principales retos de las células de combustible poliméricas se encuentran en el desarrollo del conjunto membrana-electrodo, MEA, siendo la reducción de platino del catalizador uno de sus aspectos más relevantes.

Las reducciones de este metal alcanzadas en los últimos veinte años han sido espectaculares, pasando de los 5 mg/cm² en los años 80 a los 0,01 mg/cm² de la actualidad gracias a los avances en las técnicas de deposición del Pt sobre la membrana polimérica. No obstante, el reto continúa y actualmente se propone reducirlo aún más, por un factor de 20, o, incluso, su sustitución total del catalizador

El platino es usado tanto en el ánodo para la disociación del hidrógeno como en el cátodo para la reacción de reducción del oxígeno. Sin embargo, dada la relativa lentitud de las reacciones que se producen a nivel del cátodo, éste es muy dependiente de la carga de Pt en la capa que actúa de catalizador y resulta determinante a la hora de limitar la eficiencia de la célula

La mejora de la eficiencia en las reacciones que se producen en el cátodo junto con la disminución de la carga de metales nobles en el mismo es uno de los puntos críticos para la comercialización de las células de combustible. Son múltiples las vías emprendidas para resolver este problema, pero, básicamente, se resumen en la combinación de alternativas de material y proceso: desarrollo de nuevas formulaciones de catalizadores (aleaciones binarias, ternarias, etc.,

óxidos hidratados con muy bajas adiciones de Pt, ...) y de procesos innovadores (nanopartículas recubiertas de Pt por segregación de este metal en la superficie, nanopartículas amorfas, procesos de elaboración y deposición de las anteriores, etc.); que conjuntamente autorizan una disminución del balance de Pt sin reducir o mejorando la actividad del catalizador

También es importante el desarrollo del catalizador del ánodo, aunque el contenido en platino sea menor o incluso se proponga su sustitución por otros metales. Uno de los aspectos relevantes para el desarrollo del ánodo proviene del uso de otros combustibles que tras ser reformados generan un flujo de H₂ con diversos contenidos de otras sustancias, principalmente CO. El monóxido de carbono finaliza 'agotando' el catalizador ya que es absorbido con mayor fuerza que el hidrógeno, y bloquea los sitios destinados a la oxidación de éste. El desarrollo de estrategias que prevengan los efectos nocivos del CO y aumenten la tolerancia de los catalizadores a la presencia de este gas pernicioso, es otro de los aspectos a desarrollar:



TEMA Nº 45: USO PRÁCTICO DE CATALIZADORES DE ALTA EFICIENCIA MEDIANTE EL CONTROL DE SU NANOESTRUCTURA (2-50 NM)

Posición de España (1ª a 4ª)	Factores críticos
• Capacidad C-T = 2	• Conocimiento-Ciencia Materiales
• Aplicabilidad industrial = 2	• Elaboración Materia Prima. Mejora de propiedades

Los catalizadores promueven determinadas reacciones, reducen las temperaturas y presiones requeridas, e intervienen en tal número de productos y procesos que su impacto económico es gigantesco. Sin embargo, muchos de los procesos industriales podrían mejorarse sensiblemente si se dispusiera de catalizadores más selectivos y de mayor actividad que los actualmente disponibles.

El control de la nanoestructura de los materiales abre una vía prometedora para el logro de importantes avances en la catálisis. Los desarrollos pueden orientarse en dos direcciones: las nanopartículas y los materiales nanoporosos (tipo zeolitas, carbonos porosos, sílice amorfa, etc).

Las partículas nanocristalinas de materiales metálicos y cerámicos, de 1 a 10 nm de talla, poseen una superficie específica ultra-alta y un elevado número de sitios activos, y permiten el desarrollo de catalizadores de elevada eficiencia y gran selectividad con materiales de menor coste. La síntesis y estabilización en forma y talla de las partículas, así como el desarrollo de procesos de producción a gran escala suponen las principales dificultades para su aplicación en catalizadores heterogéneos de altas prestaciones.

Los materiales nanoporosos (ó mesoporosos), con poros de 2 a 50 nm de estructura y composición controladas presentan propiedades sorprendentes y posibilitan mejoras importantes en la selectividad de los procesos catalíticos y de separación. Igualmente se pueden utilizar como soporte catalítico estable para la fijación de complejos catalíticos organometálicos en catalizadores heterogéneos. La estabilidad de las estructuras y la fabricación de materiales con estructura y composición idénticas en cada sitio activo, así como las técnicas de síntesis y procesado de productos que reproducen a la escala macro la nanoestructura diseñada son algunas de las principales líneas de desarrollo de estos materiales.

Otros

Nº	TEMA	IGI	Fecha de materialización
47	Uso práctico de placas de polímeros emisores para alumbrado.	3,60	2006-2010
46	Desarrollo de materiales orgánicos ferromagnéticos.	3,43	2006-2010

Ninguno de los temas considerados en este apartado ha sido incluido entre los 20 más relevantes. No obstante, conviene recordar que el Tema 47 fue valorado con un elevado índice de importancia, aunque relegado a posteriori por el bajo número de expertos que opinaron sobre el mismo.

Conclusiones

El presente *Estudio de Prospectiva de Materiales para el Transporte y la Energía* ha sido orientado desde las necesidades de futuro detectadas en los estudios prospectivos previamente realizados por la Fundación OPTI en ambos sectores. El análisis de las tendencias y tecnologías importantes definidas en estos estudios previos, revela numerosas necesidades de materiales cuyo desarrollo resulta determinante para alcanzar los escenarios tecnológicos futuros previstos en el transporte y la energía (no-nuclear). Su agrupamiento y análisis condujo a la definición de doce áreas temáticas de especial interés para los retos de ambos sectores; áreas en las que se centran los temas prospectivos utilizados en la consulta.



Los resultados obtenidos proporcionan una visión de las prioridades y tendencias que, presumiblemente, guiarán los futuros desarrollos de materiales en ambos sectores. El análisis realizado se centra en los veinte temas más relevantes del estudio en función de la valoración, por parte de los expertos, de su grado de importancia.

Se observa que todas las áreas temáticas acogen alguno(s) de estos veinte temas relevantes lo cual confirma la validez y relevancia de dichas áreas, pero dificulta la priorización de las mismas en función de este criterio, habida cuenta del estrecho margen existente en este grupo entre los temas de mayor y menor índice de importancia.

Desde esta perspectiva ligada a la aplicación, sólo un objetivo destaca sobre los demás: el desarrollo de materiales para células de combustible y vector hidrógeno. Bajo este epígrafe se aglutinan cinco de los veinte temas relevantes (Temas N° 35, 36, 37, 43 y 44); el resto se reparten entre los diferentes intereses sectoriales del transporte y la energía.

La figura 10 resume las principales prioridades de materiales que emanan de estos veinte temas relevantes. Se presentan distinguiendo los cuatro grupos siguientes:

1. *Materiales para el Transporte.*
2. *Materiales para la Energía.*
3. *Materiales para el Transporte y la Energía.*
4. *Temas Horizontales de Materiales.*

En el primer grupo se han incluido aquellos materiales cuyo desarrollo está orientado principalmente a la solución de necesidades del transporte. En ellos, las aplicaciones estructurales pesan más que las funcionales y, en todos los casos, se prevé que los desarrollos pronosticados se alcancen en un futuro relativamente cercano (~5 años). Se aprecia un carácter continuista, evolutivo, que va especializándose y mejorando las soluciones actuales.



Menos continuista que el anterior, el conjunto de *Materiales para la Energía* propone el desarrollo de materiales funcionales para los nuevos retos del sector: Dentro de este grupo podemos distinguir los materiales para células de combustible y vector hidrógeno que, probablemente por el efecto tractor de sus aplicaciones en el transporte, se materializarían en el próximo quinquenio; de los superconductores y células fotovoltaicas de capa fina para los que el pronóstico de realización se sitúa a más largo plazo (~10 años).

El tercer grupo tiene un carácter mixto y recoge las propuestas que serían válidas tanto para el transporte como para la energía. Los retos formulados proponen aumentar los límites del servicio y la vida del material, e incorporar niveles crecientes de inteligencia mediante la integración funcional-estructural de los materiales.

Finalmente, se ha querido presentar separadamente dos temas de carácter horizontal a los que hoy en día se atribuye un enorme potencial para abrir nuevas fronteras en todas las familias de materiales. Nos referimos a los materiales nanoestructurados, o nanomateriales como se los ha designado aquí, y a la modelización teórico-cuantitativa de materiales, orientados —en este caso—, a la predicción de vida a largo plazo.

FIGURA 10. MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA: TEMAS PRIORITARIOS

TRANSPORTE:

- Materiales de altas prestaciones para aligeramiento y absorción de energía.
- Tecnologías de soldadura de materiales de altas prestaciones.
- Intermetálicos superresistentes al calor.
- Materiales para baterías de alta densidad de energía.
- Tecnologías de reciclado del 100% de materiales de los componentes de vehículos.

ENERGÍA:

- Catalizadores, membranas y electrodos para células de combustible (PEM, SOFC), vector H_2 y fijación de CO_2 .
- Hidruros metálicos avanzados.
- Materiales superconductores ($T > 77^{\circ}K$).
- Materiales de capa fina para células fotovoltaicas.

TRANSPORTE Y ENERGÍA:

- Materiales estructurales para temperaturas extremas ($T > 1.400^{\circ}C$, at oxidante).
- Recubrimientos inteligentes para aumentar la vida en servicio (\times^2).
- Materiales inteligentes con funciones de autodiagnóstico y autoreparación, y con capacidad de monitorización.

HORIZONTALES:

- Nanomateriales metálicos, cerámicos y poliméricos.
- Modelización teórico-cuantitativa de los materiales para predicción de vida a largo plazo.

Anexo I

Panel de expertos

EXPERTO	PROCEDENCIA
Javier Llorca	ETSI de Caminos, Canales y Puertos (Madrid)
Alfredo Güemes	ETSI Aeronáuticos (Madrid)
Alfredo Lainez	UCM
Germán Giménez	CAF
Antonio Pérez de Lucas	IZAR
Plácido Márquez	ITP
José Manuel Sastre	PEUGEOT
M ^a Teresa Gutiérrez	CIEMAT
Antonio González	INTA
José Francisco Liceaga	INASMET

Anexo II

Cuestionario con los resultados del Estudio

ESTUDIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA		Nivel de Conocimiento				IGI	Grado de Importancia				Fecha de Materialización del Pronóstico				Posición de España		Factores Críticos (Seleccionar máximo 2) %								
		%					%	%				%		Moda (1 a 4*)											
		Respuestas	Alto	Medio	Bajo	Alto		Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015		Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste
Aligeramiento y Absorción de Energía	1	Desarrollo de super-aceros cuyas estructuras están controladas a escala nanométrica, para aplicaciones de absorción de energía de impacto, aligeramiento, etc.	48 A-M	15 33	29 67	56 0	3,15 3,43	30 48	54 48	15 5	0 0	5 5	60 57	15 14	18 19	3 5	3 3	3 2-3	35 36	14 12	10 14	12 14	1 0	16 14	12 10
	2	Amplio uso de materiales ligeros para reducir un 30% el peso de los componentes sustituidos.	53 A-M	38 48	42 52	21 0	3,60 3,62	66 67	28 29	6 5	0 0	24 20	60 66	16 15	0 0	0 0	3 3	3 3	16 16	11 10	13 14	18 16	3 4	22 23	17 17
	3	Desarrollo de fibras poliméricas con una resistencia al desgarro de 40% del valor teórico de 20 GPa y un módulo de elasticidad del 90% del valor teórico de 250 GP.	45 A-M	7 17	33 83	60 0	2,97 3,11	28 33	44 44	26 22	3 0	12 13	33 25	52 63	3 0	0 0	2 2	2-3 1-2	19 22	22 22	15 19	10 13	4 3	15 16	15 6

Nota: A-M = respuestas con nivel de conocimiento alto-medio.

ESTUDIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA		Nivel de Conocimiento %				IGI	Grado de Importancia %				Fecha de Materialización del Pronóstico %				Posición de España		Factores Críticos (Seleccionar máximo 2) %								
		Alto		Medio			Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015	Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste	
		Resuestas	Alto	Medio	Bajo	Índice Grado de Importancia																			Alto
Aligeramiento y Absorción de Energía	4	Desarrollo de nuevos materiales compuestos y espumas (de naturaleza diversa) con baja densidad y capacidad de absorción de energía sensiblemente mayor que los materiales actuales.	54 A-M	17 26	46 74	37 0	3,22 3,32	38 44	46 44	16 12	0 0	19 18	57 67	13 12	6 3	4 0	2 2	2 3	21 22	20 17	18 20	15 17	2 2	14 13	10 10
	5	Desarrollo de materiales de porosidad y rugosidad controlada que permitan disminuciones superiores a 10 dB del ruido percibido.	46 A-M	15 35	28 65	57 0	3,02 3,20	24 30	56 60	17 10	2 0	17 25	47 50	25 25	6 0	6 0	2 2	2 2-3	17 22	14 8	20 19	16 16	3 3	17 22	13 11
Alta Temperatura	6	Ampio uso de materiales intermetálicos superresistentes a altas temperaturas para componentes mecánicos de aviación, motores, turbinas, etc.	47 A-M	23 41	34 59	43 0	3,43 3,59	55 67	33 26	13 7	0 0	21 19	33 41	36 37	8 0	3 4	2 2-3	2-3 3	29 29	8 6	21 22	14 10	0 0	15 16	14 18
	7	Desarrollo de aleaciones resistentes al calor capaces de soportar cargas de 150 N/mm ² , a temperaturas de 1.200°C, durante al menos 1.000 horas de servicio.	45 A-M	9 15	51 85	40 0	3,18 3,26	37 41	45 44	18 15	0 0	11 11	41 44	35 33	14 11	0 0	2 2	2 2	24 28	10 11	18 18	15 16	0 0	14 12	18 16

ESTUDIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA		Nivel de Conocimiento			IGI	Grado de Importancia				Fecha de Materialización del Pronóstico				Posición de España		Factores Críticos (Seleccionar máximo 2) %									
		%				%				%				Moda (1ª a 4ª)											
		Respuestas	Alto	Medio	Bajo	Índice Grado de Importancia	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015	Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste	
Alta Temperatura	8	Desarrollo de materiales estructurales tolerantes a defectos capaces de funcionar sin refrigeración a más de 1.400°C en atmósfera oxidante.	46 A-M	13 27	35 73	52 0	3,33 3,59	44 59	44 41	11 0	0 0	12 10	27 20	39 45	21 25	0 0	2-3 3	2 2	31 38	19 19	10 7	16 17	0 0	7 7	15 12
	9	Amplio uso de aleaciones especiales de titanio para altas temperaturas.	47 A-M	23 37	40 63	36 0	3,10 3,23	33 40	43 43	24 17	0 0	18 14	58 59	15 21	5 0	5 7	2 2	2 2	15 13	15 15	14 15	20 20	1 2	14 13	20 22
	10	Desarrollo de polímeros y matrices poliméricas utilizables en continuo a temperaturas de servicio de hasta 450°C.	46 A-M	20 38	33 63	48 0	3,29 3,43	47 61	34 22	18 17	0 0	17 18	42 36	28 41	8 0	6 5	2 2	2 2	22 28	16 17	14 6	18 15	5 6	11 13	14 15
Recubrimientos y pituras	11	Uso práctico de recubrimientos para barreras térmicas con una conductividad menor que 0,5 W/m²K y alta tolerancia a las deformaciones térmicas y a la oxidación.	44 A-M	20 39	32 61	48 0	3,16 3,35	32 43	51 48	16 9	0 0	12 9	44 50	38 32	6 9	0 0	2 2	3 3	21 31	10 10	16 10	19 18	3 3	15 15	15 13
	12	Desarrollo de capas y recubrimientos inteligentes, resistentes al desgaste y a la corrosión, para aumentar la vida en servicio en componentes de materiales metálicos más de 2 veces su nivel actual.	48 A-M	33 52	33 48	33 0	3,53 3,63	62 66	29 31	9 3	0 0	14 16	55 58	25 16	7 10	0 0	2 3	3 3	31 32	9 8	14 10	16 17	1 0	17 20	11 13



ESTUDIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA		Nivel de Conocimiento			IGI	Grado de Importancia				Fecha de Materialización del Pronóstico				Posición de España		Factores Críticos (Seleccionar máximo 2) %								
		%				%				%				Moda (1ª a 4ª)										
		Respuestas	Alto	Medio	Bajo	Índice Grado de Importancia	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015	Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste
Recubrimientos y pinturas	13	Amplio uso de nuevos recubrimientos de "fricción cero" para mejorar el rendimiento de partes móviles.																						
	A-M	47	21	30	49	3,32	45	41	14	0	8	55	30	8	0	2	2	16	12	17	20	4	20	11
	14	Uso práctico de pinturas respetuosas con el medioambiente que doblen la capacidad de protección actual, con un 30% de reducción de coste de aplicación.																						
	A-M	46	15	37	48	3,54	57	38	2	2	20	65	15	0	0	2	3	12	20	7	20	16	14	12
Tecnologías de Unión y Otros Procesos	15	Uso práctico de tecnologías de soldadura de materiales estructurales de altas prestaciones, que no disminuyan las propiedades de resistencia, tenacidad y fatiga.																						
	A-M	47	26	45	30	3,47	51	44	5	0	24	62	14	0	0	3	3	20	3	20	24	4	20	11
	16	Uso práctico de tecnologías inteligentes en todo tipo de soldadura con capacidad para el autodiagnóstico de la calidad de la unión y autocorrección del proceso en tiempo real.																						
	A-M	46	11	41	48	3,32	39	54	7	0	18	40	30	8	5	2	3	27	3	15	10	4	25	15
		A-M	21	79	0	3,38	46	46	8	0	17	50	29	4	0	3	3	26	3	15	13	5	23	15



ESTUDIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA		Nivel de Conocimiento		IGI	Grado de Importancia				Fecha de Materialización del Pronóstico				Posición de España		Factores Críticos (Seleccionar máximo 2) %									
		%			%				%				Moda (1ª a 4ª)											
		Respuestas	Alto	Medio	Bajo	Índice Grado de Importancia	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015	Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste
Tecnologías de Unión y Otros Procesos	17	44 A-M	9 21	34 79	57 0	3,06 3,32	25 37	56 58	19 5	0 0	12 16	35 32	26 21	24 32	3 0	2 2	2 2	33 37	3 3	13 17	18 14	2 0	25 23	5 6
	18	49 A-M	29 44	37 56	35 0	3,43 3,53	52 56	39 41	9 3	0 0	35 30	50 60	15 10	0 0	0 0	2 2	2 3	24 23	3 4	6 8	13 11	4 6	29 28	22 21
	19	46 A-M	13 35	24 65	63 0	3,33 3,53	50 59	33 35	18 6	0 0	13 12	32 41	34 29	18 18	3 0	2 3	2 2	15 10	4 3	25 23	10 10	1 0	24 30	21 23
Materiales Inteligentes	20	46 A-M	13 22	46 78	41 0	3,66 3,63	68 67	29 30	2 4	0 0	13 15	45 44	28 22	15 19	0 0	3 3	3 3	36 35	10 7	10 11	7 4	0 0	22 22	16 22

ESTUDIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA		Nivel de Conocimiento %			IGI	Grado de Importancia %				Fecha de Materialización del Pronóstico %				Posición de España		Factores Críticos (Seleccionar máximo 2) %									
		Alto		Medio		Bajo	Índice Grado de Importancia	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015	Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste
		Respuestas	Alto	Medio	Bajo	Alto		Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015	Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste	
Materiales Inteligentes	21	Desarrollo de materiales inteligentes con funciones de auto-diagnóstico y auto-reparación, que incorporan funciones sensoras, funciones programadas y funciones actuadoras.	49 A-M	18 35	35 65	47 0	3,69 3,77	73 81	22 15	4 4	0 0	5 8	35 27	30 38	28 27	2 0	2 2	2 2	40 43	7 4	11 11	10 11	1 2	16 13	15 15
	22	Desarrollo de materiales compuestos de matriz orgánica reforzados con nanotubos.	45 A-M	7 12	49 88	44 0	3,03 3,13	29 33	47 50	21 13	3 4	8 8	35 40	27 28	24 20	5 4	1 2	1 2	27 24	16 20	12 11	7 9	1 0	15 16	21 20
	23	Uso práctico de materiales nano-compuestos orgánicos e inorgánicos con constituyentes del orden de las decenas a las centenas de Å.	47 A-M	15 28	38 72	47 0	3,14 3,40	37 48	42 44	19 8	2 0	8 4	23 33	30 33	38 29	3 0	1 3	1 1	36 36	9 15	16 13	3 4	0 0	20 19	17 13
Nanomateriales	24	Desarrollo de nanotecnologías para la obtención de materiales cerámicos, metálicos y poliméricos con propiedades estructurales y funcionales significativamente superiores a las actuales.	52 A-M	19 31	42 69	38 0	3,40 3,56	58 63	27 31	13 6	2 0	13 13	22 23	42 45	22 19	0 0	1 2	2 1	43 46	14 18	7 7	7 5	2 2	16 12	11 11

ESTUDIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA		Nivel de Conocimiento				IGI	Grado de Importancia				Fecha de Materialización del Pronóstico				Posición de España		Factores Críticos (Seleccionar máximo 2) %							
		%					%				%				Moda (1ª a 4ª)									
		Respuestas	Alto	Medio	Bajo	Índice Grado de Importancia	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015	Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste
Reciclado y Medioambiente	25	47 A-M	17 36	30 64	53 0	3,26 3,41	51 59	28 23	16 18	5 0	15 24	46 48	32 24	5 0	2 5	2-3 3	2-3 2	17 15	15 8	4 5	11 13	19 18	19 28	16 15
	26	45 A-M	13 22	47 78	40 0	3,63 3,64	68 71	27 21	5 7	0 0	21 22	44 41	26 26	10 11	0 0	2 2	2 2	11 10	5 4	19 18	10 8	11 12	18 16	26 31
	27	37 A-M	11 27	30 73	59 0	3,59 3,73	72 80	19 13	6 7	3 0	13 7	13 20	52 60	19 13	3 0	2 2	2 2	32 37	5 4	7 4	4 0	14 11	11 15	27 30
Modelizado y Cálculo	28	44 A-M	32 48	34 52	34 0	3,45 3,52	53 55	40 41	8 3	0 0	21 18	38 39	21 25	18 18	3 0	2 3	2 3	44 47	0 0	8 9	16 18	2 2	16 11	13 13

ESTUDIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA		Nivel de Conocimiento			IGI	Grado de Importancia				Fecha de Materialización del Pronóstico				Posición de España		Factores Críticos (Seleccionar máximo 2) %								
		%				%				%				Moda (1ª a 4ª)										
		Respuestas	Alto	Medio	Bajo	Índice Grado de Importancia	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015	Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste
Modelizado y Cálculo	29	53 A-M	32 52	30 48	38 0	3,45 3,55	57 64	31 27	12 9	0 0	20 19	50 53	17 19	13 9	0 0	2 3	3 3	42 36	0 0	10 9	14 17	4 6	19 21	10 11
	30	53 A-M	30 50	30 50	40 0	3,46 3,63	54 66	38 31	8 3	0 0	23 26	47 48	19 23	11 3	0 0	2 2	3 3	44 40	0 0	8 10	11 12	4 6	25 25	8 8
Energía Fotovoltaica	31	38 A-M	11 27	29 73	61 0	3,36 3,27	42 33	52 60	6 7	0 0	7 0	41 40	38 40	14 20	0 0	2-3 3	3 2	28 35	7 4	6 4	9 4	4 4	20 27	26 23
	32	37 A-M	16 38	27 63	57 0	3,34 3,19	41 25	53 69	6 6	0 0	7 6	57 56	25 19	11 19	0 0	2 2	3 2-3	16 19	10 7	10 11	14 15	2 4	26 26	22 19
	33	37 A-M	19 47	22 53	59 0	3,48 3,57	58 64	32 29	10 7	0 0	4 0	26 27	59 73	11 0	0 0	2 2-3	3 3	18 21	10 4	16 21	8 7	4 4	25 29	20 14

ESTUDIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA		Nivel de Conocimiento				IGI	Grado de Importancia				Fecha de Materialización del Pronóstico				Posición de España		Factores Críticos (Seleccionar máximo 2) %									
		%		%			%		%		%		%		%											
		Respuestas	Alto	Medio	Bajo	Índice Grado de Importancia	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015	Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste		
Energía Fotovoltaica	34	Amplio uso de células de silicio cristalino con eficiencias de conversión superiores al 25%.	37 A-M	24 56	19 44	57 0	3,34 3,31	50 44	34 44	16 13	0 0	11 7	46 67	32 20	11 7	0 0	2 3	3 3	11 10	21 20	11 17	6 7	2 3	19 17	30 27	
	Células de Combustible y Vector Hidrógeno	35	Uso práctico de nuevos materiales cerámicos con elevadas prestaciones funcionales y bajo coste para células de combustible estacionarias en producción de energía.	43 A-M	16 32	35 68	49 0	3,58 3,68	67 73	25 23	8 5	0 0	10 5	58 76	19 10	13 10	0 0	2 2	2 2-3	31 31	11 12	6 7	16 17	2 2	17 17	17 14
		36	Uso práctico de nuevas membranas poliméricas de mayor eficiencia y menor coste que las actuales (polímero perfluorosulfonato, etc.), para células de combustible PEM.	38 A-M	8 18	37 82	55 0	3,53 3,76	59 76	38 24	0 0	3 0	14 18	66 76	10 0	10 6	0 0	2 2	2 2	30 34	12 13	4 3	18 16	0 0	19 19	18 16
		37	Aplicación de hidruros avanzados y nanotubos para almacenamiento y distribución de hidrógeno.	38 A-M	8 17	39 83	53 0	3,32 3,67	52 67	32 33	13 0	3 0	11 6	37 53	22 29	30 12	0 0	2 2	1 2	33 38	11 12	7 6	11 6	4 6	19 24	16 9
38	Uso práctico de procesos de producción de hidrógeno a partir de la descomposición del agua con procesos fotoelectroquímicos avanzados.	35 A-M	20 35	37 65	43 0	3,42 3,55	55 60	35 35	6 5	3 0	4 5	50 53	31 32	12 11	4 0	2 2-3	1 2-3	29 32	4 3	10 11	10 8	4 5	27 27	16 14		

ESTUDIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA		Nivel de Conocimiento			IGI	Grado de Importancia				Fecha de Materialización del Pronóstico				Posición de España		Factores Críticos (Seleccionar máximo 2) %								
		%				%				%				Moda (1ª a 4ª)										
		Respuestas	Alto	Medio	Bajo	Índice Grado de Importancia	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015	Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste
Almacenamiento y Transporte de Energía	39	Amplio uso de baterías secundarias (Ni-MH, Li, etc.) de alta densidad de energía (200 Wh/kg; 5 veces la densidad de energía de plomo-ácido convencionales) y bajo coste, para vehículos a motor.																						
	A-M	39	15	41	44	3,32	53	29	15	3	20	30	27	13	10	2	3	27	5	7	17	5	18	22
		27	73	0	3,64	68	27	5	0	27	36	27	5	5	3	3	26	2	9	19	2	19	23	
Almacenamiento y Transporte de Energía	40	Uso práctico de materiales superconductores con una temperatura de trabajo igual o mayor a la del nitrógeno líquido (77 °K).																						
	A-M	41	24	24	51	3,37	49	43	6	3	10	29	48	13	0	2	1-2	24	13	11	8	3	19	21
		50	50	0	3,65	65	35	0	0	11	32	47	11	0	2	1	17	11	17	8	6	28	14	
Almacenamiento y Transporte de Energía	41	Uso práctico de materiales poliméricos con una conductividad eléctrica igual a la del cobre a temperatura ambiente, y buen comportamiento medioambiental.																						
	A-M	38	11	26	63	3,20	47	30	20	3	17	27	33	13	10	2	1-2	32	14	7	18	5	9	14
		29	71	0	3,38	54	31	15	0	29	14	36	7	14	3	2	44	8	8	20	0	12	8	
Catálisis	42	Uso práctico de métodos computacionales de diseño de materiales para catalizadores sólidos con requisitos de composición, organización y propiedades físicas.																						
	A-M	30	7	27	67	3,09	32	50	14	5	26	47	16	11	0	2	2	38	5	8	11	0	24	14
		20	80	0	3,30	40	50	10	0	33	44	11	11	0	2	2-3	33	11	6	6	0	33	11	



ESTUDIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE MATERIALES PARA EL TRANSPORTE Y LA ENERGÍA			Nivel de Conocimiento				IGI	Grado de Importancia				Fecha de Materialización del Pronóstico				Posición de España		Factores Críticos (Seleccionar máximo 2) %							
			%					%				%				Moda (1ª a 4ª)									
			Respuestas	Alto	Medio	Bajo	Índice Grado de Importancia	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	Hasta el 2005	Del 2006 al 2010	Del 2011 al 2015	Más allá del 2015	Nunca	Capacidad Científica y Tecnológica	Aplicabilidad Industrial	Conocimiento-Ciencia de los Materiales	Elaboración Materia Prima	Procesos de Transformación	Mejora de Propiedades	Medioambiente, Reciclabilidad, Toxicidad	Industrialización	Coste
Catalisis	43	Uso práctico de nuevos catalizadores de menor coste y eficiencia equivalente o superior a la del platino para células de combustible PEM.	37 A-M	5 17	27 83	68 0	3,50 3,67	60 67	33 33	3 0	3 0	7 8	39 42	46 50	7 0	0 0	2 2	2-3 3	37 39	12 13	2 4	8 4	0 0	20 26	20 13
	44	Uso práctico de procesos catalíticos a baja temperatura para la producción de hidrógeno directamente a partir del metano.	35 A-M	9 20	34 80	57 0	3,56 3,73	67 73	26 27	4 0	4 0	12 13	52 53	28 33	8 0	0 0	2 2	3 3	21 27	12 18	9 5	16 14	0 0	26 32	16 5
	45	Uso práctico de catalizadores de alta eficiencia mediante el control de su nanoestructura (2-50 nm).	35 A-M	11 29	29 71	60 0	3,30 3,57	41 57	52 43	4 0	4 0	19 29	38 36	23 29	19 7	0 0	2 2	2 2	35 44	14 16	8 8	14 16	0 0	12 12	16 4
Otros	46	Desarrollo de materiales orgánicos ferromagnéticos.	32 A-M	13 50	13 50	75 0	3,00 3,43	35 57	35 29	26 14	4 0	11 14	37 43	32 29	11 14	11 0	1 2	1 1-2-3	34 43	11 0	16 29	8 14	3 0	13 14	16 0
	47	Uso práctico de placas de polímeros emisores para alumbrado.	30 A-M	7 40	10 60	83 0	3,00 3,60	29 60	48 40	19 0	5 0	11 0	42 60	21 40	16 0	11 0	1 3	1 3	28 30	14 10	6 20	3 0	6 10	11 10	33 20

