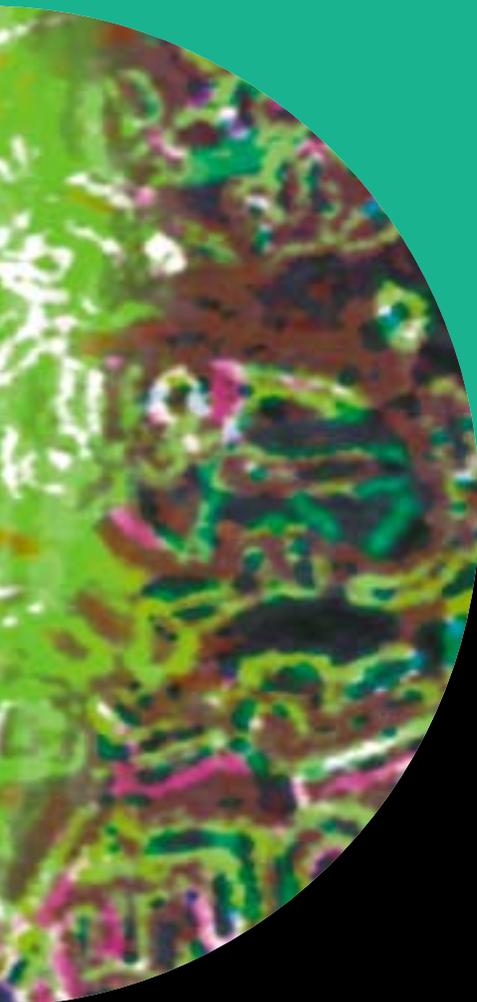


# Ciencias de la Salud El Futuro de los Biomateriales

Tendencias tecnológicas  
a medio y largo plazo



MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, TURISMO  
Y COMERCIO

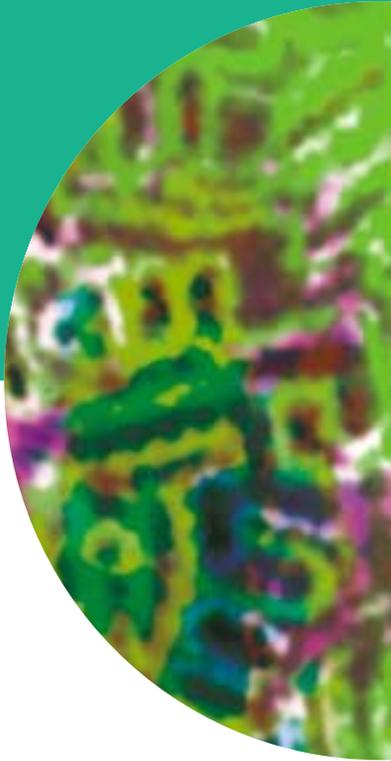
**FENiN**

Federación Española de Empresas de Tecnología Sanitaria



Fundación **OPTI**

Observatorio de  
Prospectiva Tecnológica  
Industrial



# Ciencias de la Salud El Futuro de los Biomateriales

Tendencias tecnológicas  
a medio y largo plazo

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

FENIN  
Juan Bravo, 10 - 3º P  
28006 Madrid  
Tel.: 91 575 98 00  
Fax: 91 435 34 78  
<http://www.fenin.org>

El presente informe de prospectiva tecnológica ha sido realizado por la Fundación OPTI, Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial, y FENIN, Federación Española de Empresas de Tecnología Sanitaria.

Este documento ha sido elaborado por:

Ana Morato, Fundación OPTI  
Isabel Narváez, Fundación OPTI  
Concha Toribio, FENIN

La Fundación OPTI y FENIN agradecen sinceramente la colaboración ofrecida por todos aquellos que con sus respuestas han hecho posible la realización de este informe, y en especial a los componentes del panel de expertos.

© Fundación OPTI y FENIN  
Fecha: noviembre 2004  
Depósito legal:  
Editado por: Cyan, Proyectos  
y Producciones Editoriales, S.A.



# Índice

|   |    |   |    |
|---|----|---|----|
| INTRODUCCIÓN.....   | 4  | POSICIÓN DE ESPAÑA RESPECTO<br>A OTROS PAÍSES.....      | 18 |
| OBJETIVOS.....  | 5  | TENDENCIAS DE FUTURO MÁS RELEVANTES.....                | 20 |
| EL SECTOR DE LOS BIOMATERIALES.....   | 6  | CONCLUSIONES.....                                       | 33 |
| METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.....  | 10 | ANEXO I: Listado miembros del panel<br>de expertos..... | 36 |
| RESULTADOS GENERALES.....   | 14 | ANEXO II: Cuestionario Delphi.....                      | 37 |
| CLASIFICACIÓN DE LOS TEMAS EN FUNCIÓN DE SU<br>GRADO DE IMPORTANCIA Y FECHA DE MATERIALIZACIÓN..... | 16 |   |    |
| • IGI.....  | 17 |   |    |
| • Fecha de materialización.....   | 17 |   |    |



# Introducción

Este estudio de prospectiva sobre “El futuro de los Biomateriales” se enmarca dentro de los trabajos que la Fundación Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI) viene realizando desde 1998. El estudio es fruto de un convenio de colaboración entre la Fundación OPTI y la Federación Española de Empresas de Tecnología Sanitaria (FENIN) para el desarrollo de ejercicios de prospectiva dentro del sector de las Ciencias de la Salud.

El objetivo que se pretende alcanzar con este trabajo es el de realizar un análisis de los aspectos más críticos relacionados con la evolución presente y futura de los Biomateriales, así como identificar las líneas de investigación científico-tecnológicas clave para el desarrollo de dicho sector. Este estudio de prospectiva, planteado con un horizonte temporal de 15 años, pretende servir de material de reflexión para todos aquellos que desde diversos ámbitos trabajan en el desarrollo de la innovación tecnológica y en el sector de Biomateriales. Con ello, 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 avecinan.



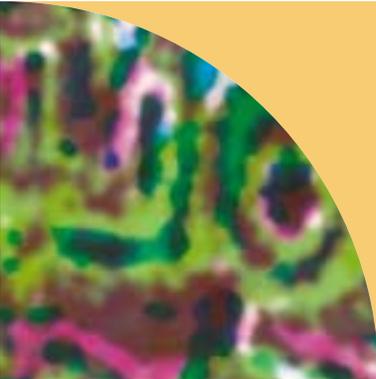
# Objetivos

Los objetivos fundamentales que se persiguen con la realización de este estudio de prospectiva se resumen en:

1. Ayudar a la planificación de las empresas del sector, permitiendo establecer vías de actuación basadas en la disposición de la información sobre las tecnologías emergentes y las áreas científicas relevantes.
2. Ofrecer una herramienta de consulta válida para la toma de decisiones relacionadas con las políticas de I+D por parte de la Administración y las empresas, y explotar los conocimientos que a día de hoy puedan obtenerse.
3. Analizar el impacto de los avances científico-tecnológicos en Biomateriales sobre el sector Sanitario.
4. Identificar marcos y estrategias de futuro tanto en lo que se refiere a su impacto sobre la salud como sobre el desarrollo empresarial.

La no existencia en nuestro país de estudios de prospectiva en el sector médico-sanitario ha impulsado a la Fundación OPTI y a FENIN a la realización de los mismos con el objetivo de estimular a la Administración y a las empresas del sector a avanzar en el ámbito de la innovación tecnológica y el desarrollo de actividad empresarial.

Los resultados del proyecto quizás no sean visibles en un corto plazo pero sí en el medio, permitiendo establecer prioridades de financiación en proyectos de I+D+i, y facilitando el conocimiento de la evolución y líneas de investigación en el sector de los Biomateriales.



# El sector de los Biomateriales

El término biomaterial designa a aquellos materiales utilizados en la fabricación de dispositivos que interactúan con los sistemas biológicos y que se aplican en diversas especialidades de la medicina. En la actualidad, la ciencia y la ingeniería de los Biomateriales son actividades multidisciplinarias que, tanto en el campo de la investigación y el desarrollo como en el de la industria y la aplicación clínica, ocupan a un número cada vez más elevado de personas altamente calificadas.

Dentro de la definición de Biomateriales, están comprendidos materiales de muy diferente naturaleza como los metales, cerámicos, poliméricos, tanto naturales como sintéticos, así como los materiales compuestos.

Sobre la base de la duración y la forma de contacto que se establece con el organismo, los Biomateriales suelen clasificarse como de uso temporal o permanente y de localización intra o extracorpórea. Desde el punto de vista de su función, se pueden distinguir los dispositivos destinados al soporte, al diagnóstico o al tratamiento. Asimismo, algunos materiales contienen drogas y son considerados como medicamentos, otros pueden incluir células vivas y constituir los llamados Biomateriales híbridos, y los hay que son





capaces de responder a señales provenientes del medio biológico que se denominan materiales inteligentes.

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

Los requisitos que debe cumplir un biomaterial son:

1. Ser biocompatible, es decir, debe ser aceptado por el organismo, no provocar que éste desarrolle sistemas de rechazo ante la presencia del biomaterial.
2. No ser tóxico, ni carcinógeno.
3. Ser químicamente estable (no presentar degradación en el tiempo) e inerte, salvo en el caso de que el objetivo sea alcanzar la biodegradabilidad.
4. Tener una resistencia mecánica adecuada.
5. Tener una resistencia a la fatiga adecuada.
6. Tener una densidad y peso adecuados.
7. Tener un diseño de ingeniería perfecto; esto es, el tamaño y la forma del implante deben ser los adecuados.
8. Ser relativamente económico, reproducible y fácil de fabricar y procesar para su producción en gran escala.

Los usos quirúrgicos de los Biomateriales son múltiples, por ejemplo, para implantes permanentes:

- En el sistema esquelético muscular, para uniones en las extremidades superiores e inferiores (hombros, dedos, rodillas, caderas, etc.) o como miembros artificiales permanentes.
- En el sistema cardiovascular, corazón (válvula, pared, marcapasos, corazón entero), arterias y venas.
- En el sistema respiratorio, en laringe, tráquea y bronquios, diafragma, pulmones y caja torácica.

- En sistema digestivo: esófago, conductos biliares e hígado.
- En sistema genitourinario, en riñones, uréter, uretra, vejiga.
- En sistema nervioso, en marcapasos.
- En los sentidos: lentes y prótesis de córneas, oídos y marcapasos caróticos.
- Otras aplicaciones se encuentran por ejemplo en hernias, tendones y adhesión visceral.
- Implantes cosméticos maxilofaciales (nariz, oreja, maxilar, mandíbula, dientes), pechos, testículos, penes, etcétera.

La industria española tiene, actualmente, una gran capacidad de investigación para el diseño y creación de nuevos productos encaminados a la obtención de Biomateriales con estructuras controladas; procesos de mejora ante la corrosión y el desgaste de las prótesis metálicas; el uso de métodos computacionales para modificar el diseño de los implantes o nuevos recubrimientos poliméricos con el fin de mejorar la Ingeniería Tisular.

La bioingeniería tiene un enorme potencial de desarrollo en nuestro país, ya que para alcanzar avances relevantes no es siempre necesario tener una posición tecnológica dominante pues, en muchos casos, la innovación está en la mejora e integración de tecnologías ya existentes.

La Unión Europea considera la Bioingeniería como un área de investigación preferente, que debe impulsarse, ante el enorme desarrollo que está teniendo en Japón y Estados Unidos. Entre los campos con mayor potencial de desarrollo se encuentran los Biomateriales y Biomecánica, así como la Nano-biotecnología; Microsistemas y Microrobótica, Imágenes Biomédicas, Bioinformática, Instrumentación Médica y Telemedicina.

En España, el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007 recoge una "Acción Estratégica en Biomateriales", dando prueba

de la importancia de este sector. Por otro lado, en el Libro Blanco de la I+D+I del Sector de Productos Sanitarios elaborado por FENIN, conjuntamente con el Ministerio de Ciencia y Tecnología y el Ministerio de Sanidad y Consumo, y editado en abril del año 2001, ya se apuntaba la línea de investigación en Biomateriales como prioritaria. En este documento se advierte del número creciente de investigadores en esta área en España, así como su excelente nivel de investigación pero se detectan, a su vez, varias lagunas a la hora de la participación de estos expertos en proyectos que requieren la colaboración de diferentes disciplinas (materiales, biología molecular y celular, farmacia, medicina y cirugía), así como la escasa interrelación con las empresas españolas de este sector.

Según los últimos estudios de la Comisión Europea, el crecimiento anual estimado para el sector de los Biomateriales a nivel mundial, está fijado en torno a un 12%. De la globalidad del mercado, Estados Unidos cuenta aproximadamente con un 40% de la cifra total y un crecimiento estimado del 20%. Europa, situada como segunda potencia, cuenta con una cuota de mercado del 28% y basa sus principales esfuerzos en investigaciones en el campo de materiales e ingeniería de tejidos. No obstante, no hay que olvidar que mientras que la Unión Europea compite con Estados Unidos y Japón, donde actualmente los avances en el desarrollo de nuevas tecnologías para la creación de Biomateriales es una prioridad, economías emergentes tales como Corea del Sur, Taiwán y China están introduciéndose rápidamente en este sector.

En la medida que el crecimiento económico en Europa parece depender de forma notable del desarrollo de nuevos

productos de elevado valor añadido, el campo de los Biomateriales cuenta con una gran oportunidad de expansión. En este sentido, cualquier compañía innovadora que se precie debe cubrir la enorme gama de conocimientos multidisciplinarios que la investigación europea y los esfuerzos industriales están generando. En concreto, las PYMEs, consideradas como los mayores instrumentos de generación de riqueza y empleo, cuentan con un papel cada vez más importante en el sector de los Biomateriales, ya que pueden establecer proyectos de colaboración con relativa facilidad, al aprovechar sinergias que puedan surgir entre ellas. No obstante, dada su capacidad financiera, frecuentemente acaban siendo absorbidas o vendiendo la tecnología desarrollada a grandes multinacionales que son las que finalmente comercializan los productos y explotan las patentes.

Tradicionalmente, el desarrollo en Biomateriales ha venido marcado por las necesidades en los campos de ingeniería aeronáutica, mecánica y electrónica, a través de un proceso de transferencia tecnológica. Como resultado, y a pesar de los avances conseguidos hasta el momento, la complejidad que presenta por ejemplo reemplazar la naturaleza y funcionalidad de tejidos naturales, ha tenido muchas limitaciones en un gran número de aplicaciones. El desarrollo de nuevos Biomateriales se basa, por tanto, en innovación multidisciplinaria y en cierta medida en la capacidad de "imaginar" dichas aplicaciones. La multidisciplinariedad es un requisito esencial de la investigación biomédica. La evolución de la biología es muy rápida y genera una gran cantidad de información, haciéndose necesaria la convergencia de científicos procedentes de las ciencias "duras", como la física, matemáticas e ingeniería y las ciencias biológicas y la medicina.



Desde otro punto de vista, los desarrollos en nuevos materiales pueden tener implicaciones a largo plazo para el sistema sanitario europeo. Con una población envejecida (el número de adultos jubilados se prevé que se incremente en un 50% para el 2025, llegando a tener un promedio superior al 30% de ciudadanos por encima de los 60 años) y una esperanza de vida mayor, los posibles beneficios de los Biomateriales en la reducción de la creciente carga de costes en el sistema sanitario actual es evidentemente primordial. Actualmente, se han desarrollado alrededor de 2.700 tipos de dispositivos médicos considerados como Biomateriales. En USA se estima que se implantan unos 3 millones de prótesis anuales, generando un mercado de más de 100 millones de dólares. En Europa, se implantan anualmente alrededor de 40.000 prótesis cardíacas y 275.000 prótesis de cadera, siendo de fabricación europea sólo el 15%. Se pronostica que el aumento del uso de prótesis crecerá a un ritmo de un 6% anual, con un incremento de los costes asociados de un 10%.

Europa en su conjunto dedica entorno al 8,6% del PNB al sector Salud, frente al 13,9% dedicado por Estados Unidos. De este porcentaje, el 6,37% representa el gasto en tecnología médica europea, frente al 5,1% americano. Los últimos datos disponibles de los años 2002/2003 valoran la tecnología médica europea en torno a los 55,2 billones de euros. Alemania es el país líder con una cuota de mercado del 34,4%, seguido de Francia con el 16,3%. España posee una cuota de mercado de las tecnologías sanitarias de alrededor del 5,4% en Europa.

El mercado mundial de la tecnología sanitaria se estimó en más de 184 billones de euros en el año 2002. El mercado europeo de la tecnología sanitaria representa en torno al 30% del mercado mundial, precedido por Estados Unidos con el 43% (79 billones de euros) y seguido de Japón con el 11% (20 billones de euros).

Dentro de áreas más especializadas, el mercado ortopédico mundial se situaba en unos 8 billones de euros, con una tasa de crecimiento del 5-7% anual, dentro del cual los implantes de cadera ocupaban un 30% de dicho segmento. El mercado del tratamiento de heridas supera los 10 billones de euros anuales, de los cuales los tratamientos de lesiones graves representan casi el 40% y las aplicaciones vasculares unos 3 billones de euros. La reparación de tejidos, excluyendo las aplicaciones ortopédicas y cardiovasculares, se estima en unos 4 billones de euros.

A pesar del dominio de Estados Unidos, Europa cuenta con un sector de Biomateriales fuerte, especialmente en ingeniería de tejidos, y está bien asentado para seguir con su expansión de mercado. Para el crecimiento europeo, será necesaria la participación de pequeñas y medianas empresas, que actualmente juegan un papel activo en la mayoría de los proyectos en curso de la Comisión Europea. Poniendo en contacto a nivel europeo expertos del mundo académico y del sector médico con especialistas provenientes de la industria, y superando las limitaciones a nivel nacional, los programas marco pueden jugar un papel catalizador, impulsando la investigación a nivel europeo y, por tanto, la creación de empleo.

# Metodología del estudio

A circular inset image showing a microscopic view of biological tissue, likely a cross-section of a bone or similar structure, with various shades of green, yellow, and purple.

Para la realización de este estudio se ha seguido la siguiente metodología de trabajo:

a) **Síntesis documental.** Como información de partida para la preparación del ámbito del estudio, se han analizado las más recientes tendencias y estudios realizados en los principales países productores y generadores de tecnología y en el propio ámbito nacional y su entorno, identificando las tecnologías actuales en uso y los principales indicadores económicos del sector, así como las áreas científico-tecnológicas consideradas clave para el futuro desarrollo del sector.

b) **Panel de expertos.** Para llevar a cabo este estudio de prospectiva se ha requerido la creación de un seleccionado panel de expertos compuesto por profesionales de reconocido prestigio en relación con los Biomateriales, procedentes de centros tecnológicos y centros de investigación, universidades, empresas y sector clínico. Con su colaboración, se definieron las tendencias tecnológicas para desarrollar una visión de futuro sobre los Biomateriales y se confeccionó un primer borrador del cuestionario. Cada uno de los expertos planteó una serie de temas referentes a su área de conocimiento. En ellos se trataban las técnicas de fabricación y aplicaciones



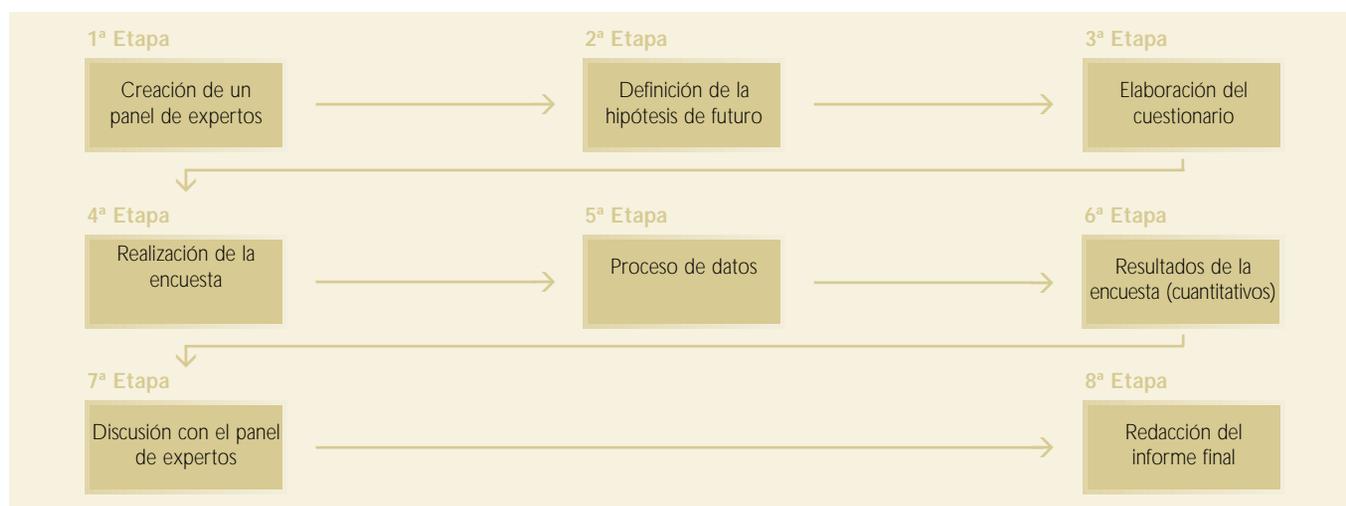
más innovadoras y trascendentes, así como todos aquellos posibles acontecimientos que pudieran influir de forma significativa en la evolución del sector. Este panel de expertos, que quedó constituido por 9 especialistas, es en gran parte la clave del éxito de este ejercicio de prospectiva y se ha reunido en tres ocasiones a lo largo del periodo de ejecución del estudio.

**c) Cuestionario.** Se trata de valorar, mediante cuestionario, el grado de importancia de las tecnologías seleccionadas como críticas, así como estimar su fecha de materialización y la posición competitiva de España respecto a varios factores competitivos. Un total de 24 temas quedaron recogidos en el cuestionario (ver Anexo II). Por último, cada experto propuso personas que podrían responder el cuestionario, cuyas respuestas permitirían contrastar diversas opiniones. El objetivo consistía en seleccionar una población lo más heterogénea posible en cuanto a procedencia profesional, distribución geográfica y perfil, es decir, investigadores, fabricantes y usuarios. De este modo, los resultados obtenidos tienen una mayor validez a escala territorial

y recogen las opiniones de diferentes ámbitos de la sociedad (industrial, investigadores, académico, clínicos, etc.).

**d) Análisis estadístico de la encuesta.** 75 investigadores y expertos tanto del sector público como privado han participado en esta encuesta. En esta etapa se han de realizar los cálculos de resultados, el análisis de medias y modas, explicación de las desviaciones y extracción de conclusiones generales sobre los cuestionarios recibidos.

**e) Conclusiones y redacción del informe final.** Mediante el envío de este cuestionario, y su posterior análisis, conjuntamente con el panel de expertos, se pretende valorar el grado de importancia de las tecnologías y aplicaciones seleccionadas, estimar su fecha de materialización y determinar las capacidades españolas respecto a las europeas. En una tercera reunión del panel de expertos se han analizado los resultados estadísticos de la encuesta, al tiempo que se han elaborado las conclusiones y recomendaciones que se recogen en este documento. En la siguiente figura se muestra de forma gráfica el procedimiento seguido en cualquier estudio de prospectiva.



# Variables del cuestionario

El cuestionario recoge 24 temas de futuro, es decir, una serie de hipótesis relacionadas con el desarrollo tecnológico del sector de los Biomateriales, sobre las que se invita a reflexionar a los consultados. En cada uno de estos temas, se plantean una serie de variables. En el presente estudio se han elegido las siguientes:

## Nivel de conocimiento

Se refiere al grado de conocimiento o experiencia que el encuestado posee sobre cada tema y que debe autoevaluar como:

- **Alto:** significa que se considera experto o posee un conocimiento especializado sobre el tema.
- **Medio:** si posee un buen conocimiento pero no se llega a considerar experto.
- **Bajo:** si ha leído literatura técnica o escuchado a expertos relacionados con el tema.

Esta variable ha servido para descartar las opiniones vertidas por aquellos expertos que consideran su nivel de conocimiento bajo, conforme a su propia autoevaluación. Bajo este criterio, sólo se han tabulado las respuestas aportadas por los consultados con un grado de conocimiento alto y medio, con el fin de que prime la calidad de las respuestas en el estudio.

## Grado de importancia

Hace referencia al grado de importancia que el tema tratado tiene para el sector de los Biomateriales en España:

- **Alto:** si es muy importante.
- **Medio:** si es importante.
- **Bajo:** si apenas tiene importancia.
- **Irrelevante:** si no es nada importante.

Para clasificar los temas en función del Grado de importancia se ha calculado un índice conforme a la aplicación de la siguiente fórmula:

$$IGI = \frac{4A + 3M + 2B + I}{N}$$

Siendo:

- IGI** = Índice del Grado de Importancia.  
**A** = N° de respuestas que consideran que el grado de importancia del tema es alto.  
**M** = N° de respuestas que consideran que el grado de importancia del tema es medio.  
**B** = N° de respuestas que consideran que el grado de importancia del tema es bajo.  
**I** = N° de respuestas que consideran que el grado de importancia del tema es irrelevante.  
**N** = N° total de respuestas.

## Horizonte temporal

Se refiere al momento en que el tema propuesto se va a implantar o llevar a cabo de manera bastante generalizada.

El horizonte temporal abarca hasta más allá del año 2015 y ha sido dividido en tramos de cinco años. También se incluyó la opción de "Nunca" para el caso en que se opine que no llegará a implantarse.

Para el análisis de esta variable, se ha registrado como fecha de materialización correspondiente a cada hipótesis la



moda de las respuestas recibidas, es decir, aquel intervalo temporal de cinco años en el que se agrupa un mayor número de opiniones de los expertos consultados.

## Posición de España respecto a otros países

Con esta variable se pretende conocer cuál es la posición de España en relación con otros países de nuestro entorno.

Dicha posición está referida a dos aspectos:

- **Capacidad científica y tecnológica**, es decir, el potencial de desarrollo científico y tecnológico existente.
- **Capacidad empresarial**, es decir la capacidad de producción y comercialización en referencia al entorno empresarial/industrial vigente.

Para cada uno de los temas, los encuestados debían otorgar una valoración entre 1 y 4 en cada una de las capacidades sometidas a su opinión (capacidad científica y tecnológica y capacidad industrial). Entre los cuatro valores discretos ofrecidos como formato de respuesta, las puntuaciones 1 y 2 corresponderían a una capacidad menos favorable, las puntuaciones 3 y 4 corresponderían a una capacidad favorable de las empresas españolas en relación a las europeas. De esta manera, a cada tema le corresponden cuatro modas

(aquellas puntuaciones registradas con la mayor frecuencia entre los encuestados), una para cada capacidad juzgada.

## Amplitud del campo de aplicación

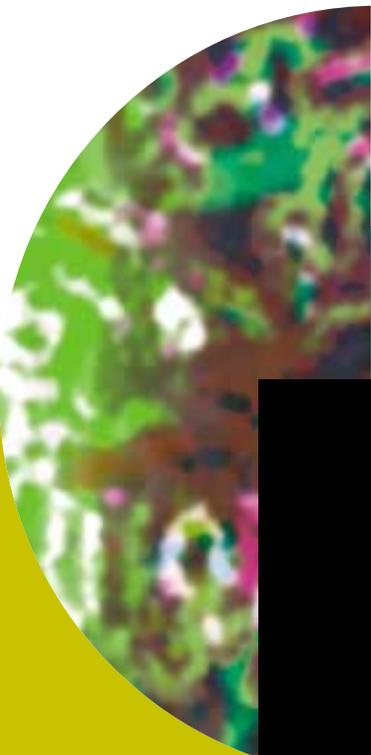
Con esta variable se pretende consultar a los expertos participantes en el estudio acerca de la extensión que el tema en cuestión tendrá en el sector. Se distingue entre:

- No se aplicará.
- Aplicación testimonial.
- Aplicación media.
- Aplicación a gran escala.

## Barreras

Hace referencia a las dificultades o impedimentos que los expertos encuestados han señalado que actuarán como obstáculos o impedimentos para el conjunto de las hipótesis planteadas. La naturaleza de las mismas es:

- Científicas.
- Tecnológicas.
- Económicas.
- Facilidad de aplicación.
- Ético / Sociales.
- Normativas.



# Resultados generales

La encuesta fue enviada a 200 expertos y profesionales relacionados con el sector de los Biomateriales, siendo respondida por 75 de ellos, lo que representa una tasa de respuesta del 37,5 por ciento.

El perfil de los expertos que han respondido la encuesta obedece, a grandes rasgos, al de un profesional de mediana edad, localizado mayoritariamente en las comunidades de Madrid, Cataluña y País Vasco. En este sentido, se aprecia que la mayor parte de las respuestas provienen de las comunidades autónomas en las que se encuentran concentrados el mayor número de empresas, centros de investigación, universidades, etc. En cuanto a su procedencia profesional, la distribución se encuentra bastante equilibrada, estando igualmente repartida entre centros de investigación, universidades, profesional sanitario y expertos de procedencia industrial. Los gráficos 1, 2 y 3 muestran estos resultados.

Este equilibrio en cuanto a perfil profesional, ayuda a obtener una valoración final de los temas planteados mucho más representativa, evitando posibles desviaciones dependientes de la procedencia de los expertos.



FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN POR EDADES

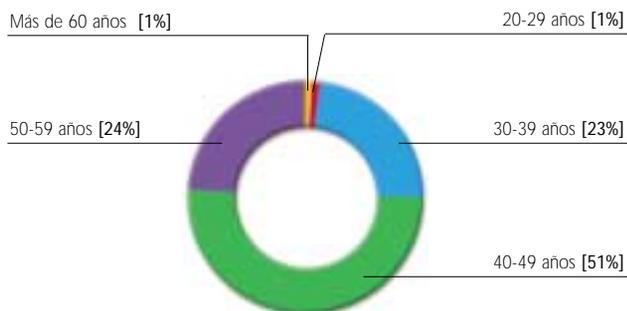


FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN POR PROCEDENCIA PROFESIONAL

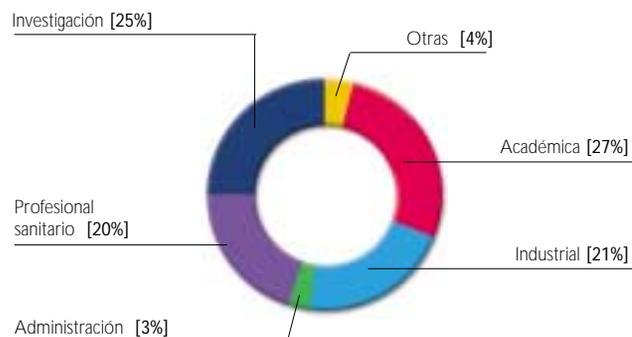
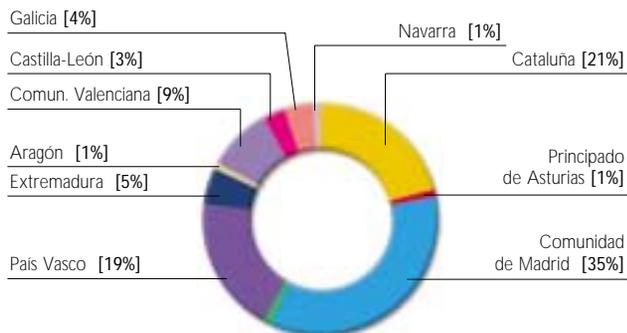


FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN POR PROCEDENCIA GEOGRÁFICA



En lo que se refiere al nivel de conocimiento manifestado por los expertos, los datos indican que las hipótesis en las que se muestra un desconocimiento mayor son aquellas en las que de alguna forma se encuentran involucrados desarrollos en las conocidas tecnologías NBIC (nano-bio-info-cogno). Asimismo, temas que actualmente tienen un importante rechazo de la opinión pública, o que pueden encontrarse con barreras legales significativas actualmente (desarrollos a partir de células madre, sangre artificial, etc.) aparecen como hipótesis con mayor grado de incertidumbre.

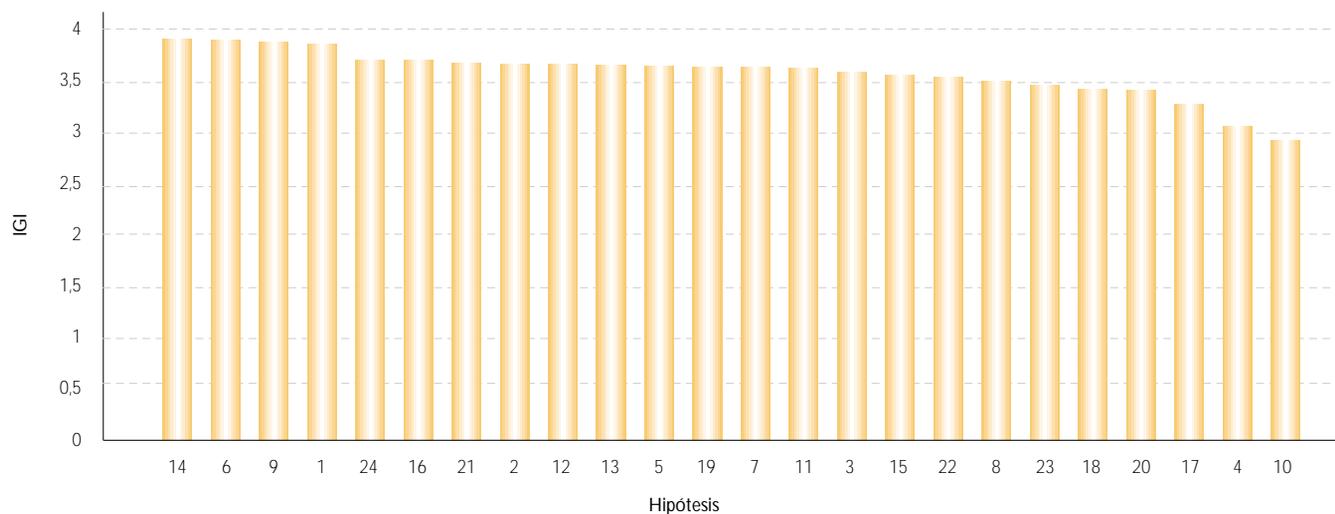


# Clasificación de los temas en función de su grado de importancia y fecha de materialización

El criterio principal con el que se han clasificado las hipótesis de futuro planteadas en el cuestionario ha sido el Índice de Grado de Importancia, calculado conforme a la fórmula expuesta en el apartado de metodología. Dicho grado toma valores en el intervalo de 1 a 4, siendo 4 el valor más alto. Si analizamos el resultado en relación con esta variable, vemos que sólo una de las hipótesis ha obtenido un valor inferior 3. Este hecho valida la bondad y calidad del cuestionario elaborado, al tratarse de hipótesis todas ellas valoradas como altamente importantes para el futuro del desarrollo del sector de los Biomateriales.

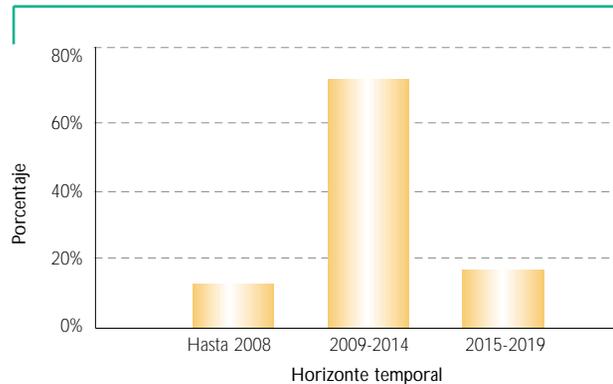


FIGURA 4. CLASIFICACIÓN DE LOS TEMAS SEGÚN EL ÍNDICE DE GRADO DE IMPORTANCIA (IGI)



Otra de las variables fundamentales en todo ejercicio de prospectiva es la fecha de materialización de las hipótesis planteadas. Como se puede constatar, la mayor parte de los temas se materializan en el periodo comprendido entre el 2009 y el 2014, siendo pocos los que aparecen antes y después de dichas fechas. Esto se interpreta como que las hipótesis parten de desarrollos que se están planteando en la actualidad, pero cuya aplicación generalizada no se producirá antes de 5 a 10 años.

FIGURA 5. CLASIFICACIÓN DE LOS TEMAS SEGÚN SU FECHA DE MATERIALIZACIÓN





# Posición de España respecto a otros países



En el presente estudio de prospectiva se ha evaluado la posición de España respecto a otros países de nuestro entorno en relación con cada una de las hipótesis de la encuesta. Como se ha comentado anteriormente, la valoración se ha realizado en dos aspectos diferentes:

- Capacidad científica y tecnológica.
- Capacidad empresarial.

Del análisis de los resultados obtenidos se deriva que la capacidad científica y tecnológica, sin ser relevante, es sensiblemente mejor que nuestra capacidad empresarial. Es decir, que existen desarrollos interesantes por parte de los centros de investigación y tecnológicos, pero que no hay empresas capaces de absorber dichas investigaciones y convertirlas en productos. De todo ello se deriva que el sector de los Biomateriales en España se encuentra a nivel industrial en clara desventaja respecto a otros países industrializados y debe hacer un importante esfuerzo para intentar situarse en el mercado.



FIGURA 6. CAPACIDAD CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

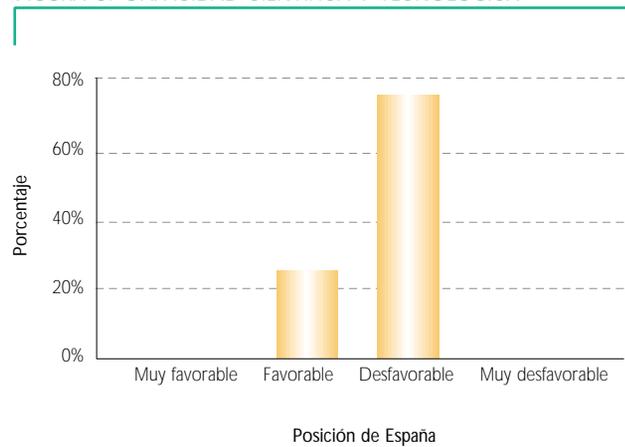
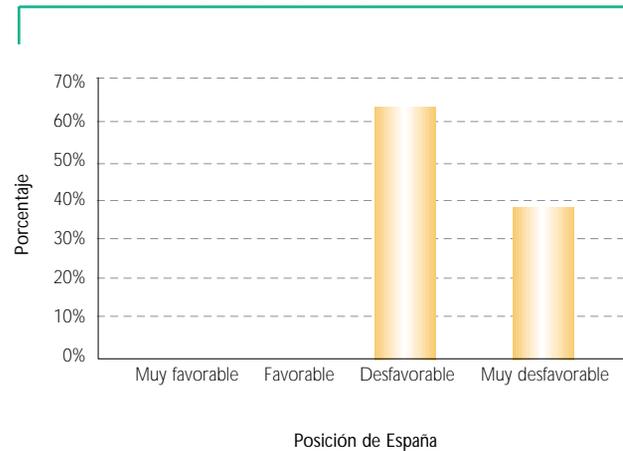
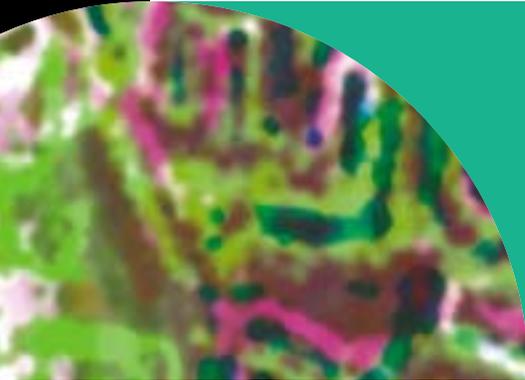


FIGURA 7. CAPACIDAD EMPRESARIAL





# Tendencias de futuro más relevantes

Los Resultados de la encuesta han aportado información en relación con el Índice de Grado de Importancia (IGI) de las hipótesis del cuestionario, así como acerca de la fecha de materialización de las mismas. Estos datos han permitido seleccionar los doce temas más relevantes para el futuro del sector de los Biomateriales. A continuación se presentan dichos temas, junto con la información extraída de los resultados de la encuesta y aquella fruto del debate surgido en la reunión del panel de expertos.

## Existirá material de implante que llegará a osteointegrarse en breves plazos de tiempo

### Hipótesis 6

**IGI:** 3.87

**Fecha materialización:** 2009-2014

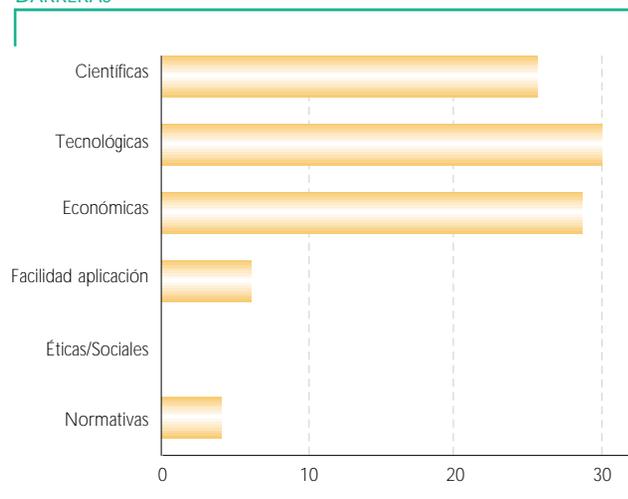
**Capacidad científica/tecnológica:** Favorable

**Capacidad empresarial:** Desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Gran/Media escala



## BARRERAS



Actualmente, ya existen numerosos Biomateriales que se osteointegran en breves plazos de tiempo. No obstante, el reto siguiente es conseguir que dichos implantes una vez se hayan osteointegrado permitan un apoyo inmediato, es decir, que puedan ser capaces de soportar cargas mecánicas casi inmediatamente después de haber sido implantados.

Los plazos de tiempo para alcanzar este objetivo varían dependiendo de la especialidad de que se trate. Dentro de la cirugía ortopédica, estos plazos pueden variar de 15 días a 12 semanas. En esta área los desarrollos actuales apuntan en la dirección de prótesis recubiertas de material cerámico como la hidroxiapatita y/u otros materiales de ingeniería tisular (proteínas morfogenéticas óseas —BMPs—, u otros factores de crecimiento), siendo las aleaciones de titanio las bases de material metálico que mejor comportamiento de osteointegración presentan.

En el caso de la odontología el tiempo de carga se ha reducido de 2 meses a 4 semanas, debido principalmente a que se ha incrementado la rugosidad superficial. No obstante,

en la actualidad existe un porcentaje elevado de fracaso en implantes dentales de carga inmediata, a la vez que se está restringiendo la utilización de la hidroxiapatita en prótesis dentales, debido a las infecciones que se producen en la zonas de descohesión entre el recubrimiento y el sustrato metálico. La hidroxiapatita está siendo sustituida por terapias más avanzadas como la utilización en paralelo de BMPs o plasma rico en factores de crecimiento.

En el campo de los nuevos desarrollos cabe destacar los avances en materia de proteínas selectivas de adhesión, que mejoran la implantación. Por su parte, los vidrios bioactivos tienen una capacidad de osteointegración bastante mayor que los de hidroxiapatita, pero son muy frágiles y no pueden ser utilizados en cirugía ortopédica, empleándose, principalmente, en aplicaciones de relleno.

Es necesario subrayar que la capacidad empresarial española para afrontar estos desarrollos es poco favorable. Si bien se están llevando a cabo investigaciones conjuntas con la Universidad e Institutos Tecnológicos, la fabricación de los productos se realiza en el exterior, principalmente en Estados Unidos. Se puede afirmar que la empresa es receptiva y comparte que en este tipo de desarrollos está el futuro del sector, pero de ahí a llegar a fabricar estos productos hay un gran camino por recorrer debido a la gran competencia externa.

Como bien queda reflejado en los resultados de la encuesta, existe una actividad considerable en lo que a investigación y desarrollo se refiere, pero la aplicación industrial se realiza fuera de España. En resumen; existen adecuados desarrollos a nivel científico pero falta el tejido empresarial que los absorba.

En relación con el plazo de materialización resultante de la encuesta (2009-2014), los expertos opinan que se podría acortar si se tomaran las medidas necesarias para impulsar a las empresas del sector.

## La supervivencia a largo plazo de los implantes se incrementará con el empleo de materiales que mejoren la regeneración natural de los tejidos, tanto en su estructura como en sus funciones metabólica, bioquímica y biomecánica

### Hipótesis 9

**IGI:** 3.85

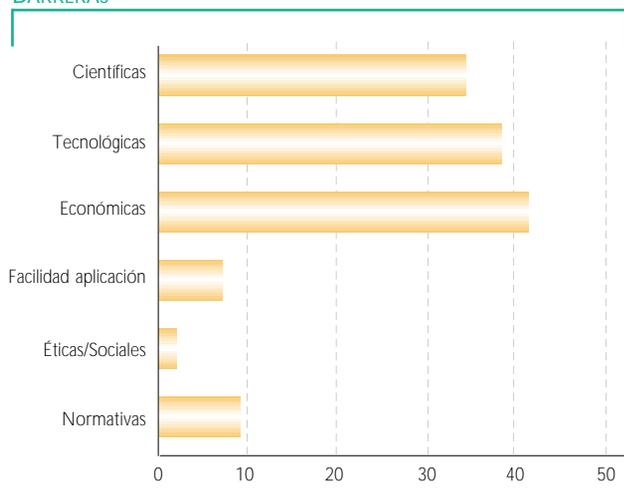
**Fecha materialización:** 2009-2014

**Capacidad científica/tecnológica:** Desfavorable

**Capacidad empresarial:** Desfavorable/Muy desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Gran/Media escala

### BARRERAS



Esta hipótesis está íntimamente relacionada con el desarrollo de sistemas de adhesión y diversos factores de crecimiento como las proteínas morfogenéticas óseas (BMPs) que favorecen la osteointegración de los implantes. Para que un implante interactúe con la superficie de los tejidos adyacentes es preciso que esté compuesto por elementos inertes que incorporen materiales de adhesión.

Existen diversos tipos de desarrollos en este campo como los sistemas activadores para colocar implantes de tipo metálico, patentado por MERCK. Asimismo, un campo importante de investigación es el de los polímeros funcionales, cuya superficie está dotada de unas funciones que permiten el ensamblaje con proteínas de tejidos próximos. Este tipo de polímeros funcionales pueden aplicarse, por ejemplo, para la regeneración del tejido nervioso. Otros campos de desarrollo vienen de la mano de la biotecnología, como son los denominados materiales bioactivos.

La tecnología implicada en muchos de estos casos no es tan compleja, pero el problema se plantea a la hora de encontrar empresas dispuestas a absorber esa tecnología. Tal y como se pone de manifiesto en los resultados de la encuesta, la principal limitación para la transferencia tecnológica en este campo es principalmente de carácter económico.

En relación con la capacidad científico-tecnológica, la posición de España no es tan desfavorable y existen diversos grupos de investigación importantes en este campo.



## El desarrollo de las tecnologías que se utilizan en la ingeniería de tejidos permitirá la reparación, regeneración, etc., de tejidos e incluso de órganos del cuerpo humano

### Hipótesis 1

**IGI:** 3.83

**Fecha materialización:** 2009-2014

**Capacidad científica/tecnológica:** Desfavorable

**Capacidad empresarial:** Desfavorable/  
Muy desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Gran/Media escala

Las tecnologías utilizadas para la reparación y regeneración de tejidos e incluso órganos del cuerpo humano están relacionadas con todas las investigaciones y desarrollos que inicialmente fueron llevadas a cabo en el área de la piel artificial. Cabe destacar en este sentido que en España existen grupos científicos que están llevando a cabo importantes desarrollos en este campo.

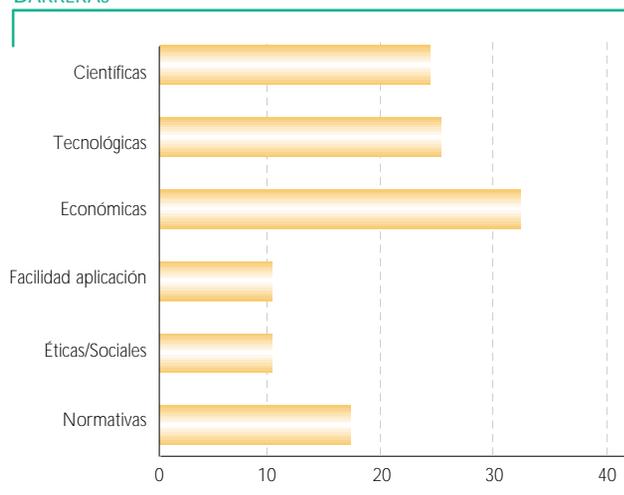
Actualmente, se han desarrollado matrices tisulares en cerámica, metal y polímeros que están dando muy buenos resultados pero que, probablemente, no sean aplicables a todo tipo de órganos. También se ha conseguido desarrollar tejido cartilaginoso no articular.

El futuro de este campo de aplicación de los Biomateriales se encuentra en el avance de la nanotecnología para el desarrollo de materiales compuestos que permitan la regeneración ex vivo e incluso in vitro de órganos.

Esta hipótesis es valorada como muy importante por los expertos consultados si bien se encuentra aún lejano su plazo de aplicación real en el mercado. En este sentido, el plazo de materialización de la tecnología está más cerca de 2014.

Como se puede apreciar por los resultados de la encuesta, en esta hipótesis destacan barreras de tipo normativo y ético. Este tipo de desarrollos tiene que superar numerosos protocolos y barreras normativas antes de que lleguen a ser aplicados por los profesionales sanitarios.

### BARRERAS



## Se implantarán sistemas de dispensación de fármacos para tratamientos de larga duración que tendrán una respuesta adaptativa del material utilizado

### Hipótesis 16

**IGI:** 3.68

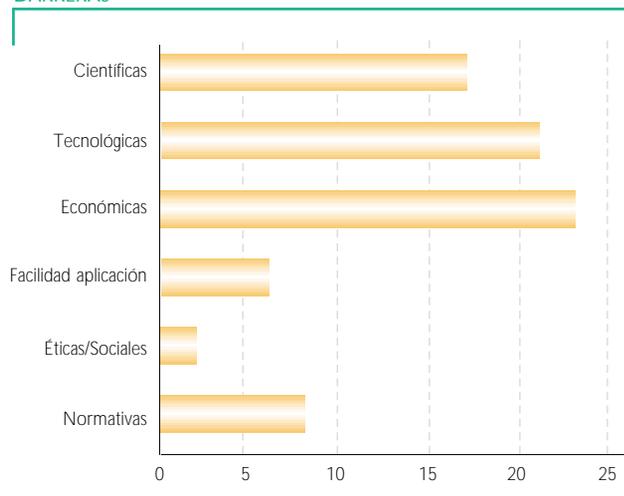
**Fecha materialización:** 2009-2014

**Capacidad científica/tecnológica:** Favorable/  
Desfavorable

**Capacidad empresarial:** Desfavorable/  
Muy desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Gran escala

### BARRERAS



Esta hipótesis está relacionada con el desarrollo de sistemas de dispensación de fármacos capaces de reaccionar frente a cambios metabólicos y adaptar su dosificación al estado del enfermo en lo que podríamos denominar "tiempo real".

Estos desarrollos pueden enfocarse bajo dos vertientes. Si hablamos de la aplicación de biosensores con capacidad de monitorizar el estado del enfermo, medir in situ y dispensar la dosis adecuada de fármaco incluso en partes del cuerpo de difícil acceso, el horizonte temporal es más corto y la capacidad científica de nuestro país favorable. Sin embargo, si lo que se pretende es el desarrollo de tecnologías para la obtención de materiales inteligentes mediante la aplicación de la nanotecnología, el plazo de materialización es más lejano y la posición de España francamente desfavorable.

Un ejemplo de aplicación de este tipo de materiales inteligentes biocompatibles pueden ser las lentes intraoculares acomodativas, que presenten la facultad de adaptarse a la distancia y permitan ver correctamente tanto de cerca como de lejos.

Por otra parte y con posibilidad de estar disponible en el mercado a muy corto plazo, se está trabajando con materiales programables, es decir, el material va siendo reabsorbido paulatinamente (material pasivo degradable). Estos desarrollos afectan a todos los campos de aplicación, tanto de tipo local como sistémico.

Como se puede apreciar, además de las barreras económicas que son las más importantes a la hora de producir y poder aplicar a gran escala, existen también barreras de tipo normativo que dilatarán el tiempo de puesta en el mercado de este tipo de tecnologías.



## Existirá material bioactivo implantable y modelable a medida en el propio quirófano

### Hipótesis 5

**IGI:** 3.62

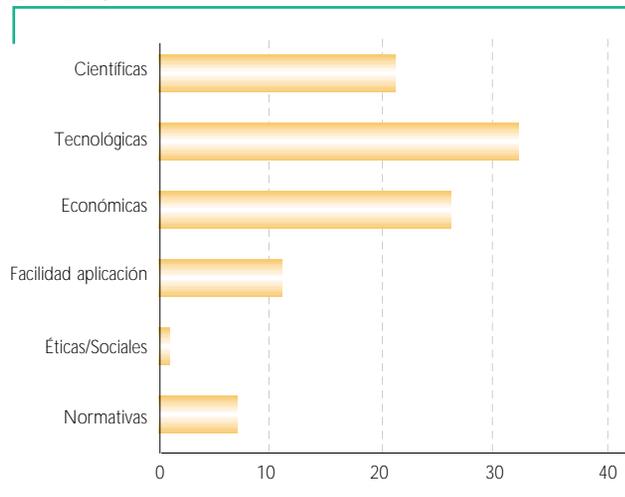
**Fecha materialización:** 2009-2014

**Capacidad científica/tecnológica:** Desfavorable

**Capacidad empresarial:** Desfavorable/  
Muy desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Media escala

### BARRERAS



Este tipo de materiales ya existe, como es el caso de los cementos inyectables de hidroxiapatita basados en fosfatos de calcio. En el caso de tejido óseo en cirugía ortopédica y maxilofacial se trata de una tecnología que ya está en uso, si bien el reto se encuentra en mejorar las propiedades de estos materiales ya existentes para que respondan a determinadas propiedades mecánicas del tejido óseo.

Sin embargo, en el caso de la cirugía ocular no es tan fácil conseguir este tipo de material bioactivo ya que, por ejemplo, la córnea es muy sensible y no admite cualquier material. También existen grandes barreras para conseguir estas propiedades en el caso de la cirugía vascular.

Como se puede observar, las barreras para mejorar las propiedades de los materiales en el caso de tejido óseo y poder ampliar el campo de aplicación de material bioactivo implantable y modelable a otras zonas del cuerpo, están vinculadas a la necesidad de impulsar la investigación científica y el desarrollo tecnológico y a facilitar su aplicación.

## Se generalizará la utilización de factores de crecimiento óseo para la reparación de grandes defectos óseos

### Hipótesis 19

**IGI:** 3.61

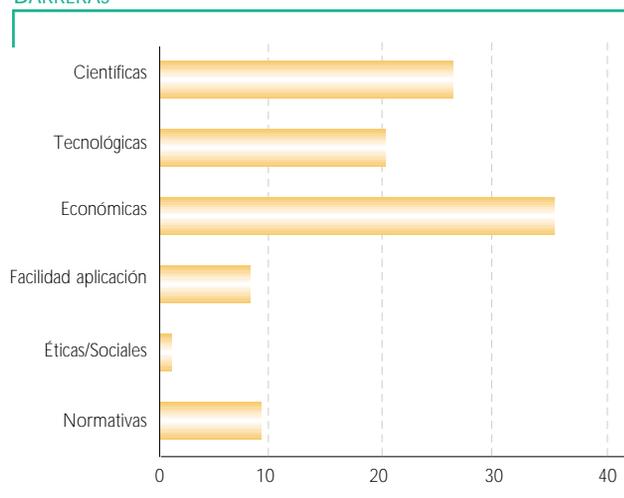
**Fecha materialización:** 2009-2014

**Capacidad científica/tecnológica:** Favorable/  
Desfavorable

**Capacidad empresarial:** Desfavorable/Muy  
desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Gran/Media escala

### BARRERAS



El área de conocimiento con mayor relevancia en este tema es la ingeniería de tejidos. En la actualidad, la utilización de factores de crecimiento como las proteínas morfogenéticas

óseas (BMPs) requiere de un sistema de transporte y liberación adecuados de los mismos. En la práctica clínica en Europa se ha aprobado la utilización de este tipo de material exclusivamente en el tratamiento de pseudoartrosis de huesos largos y en la artrodesis vertebral. También se ha permitido su empleo compasivo en el caso de retardos de la consolidación y de grandes defectos óseos que no se resuelven mediante los tratamientos convencionales.

Los BMP son proteínas de origen natural que favorecen la consolidación de fracturas al inducir a las células mesenquimáticas presentes en el foco de fractura a su diferenciación hacia líneas celulares osteoblásticas, si bien no es ésta su única función metabólica ya que pueden favorecer también el crecimiento y proliferación de otros tipos de tejidos. La utilización de BMPs es un tema delicado y actualmente sus campos de aplicación son muy restringidos (cirugía vertebral y de tibia), dado que pueden también generar diversos problemas al derivar el devenir celular hacia otro tipo de tejidos como el vascular o epitelial. Las previsiones de los expertos son que se extenderá el uso de estos factores de crecimiento, pero no llegará a generalizarse.

La capacidad científica y tecnológica de España es favorable. Hay pocos grupos de investigación trabajando en esta área, pero éstos realizan estudios considerados pioneros en la materia.

A nivel de capacidad empresarial estos desarrollos están en manos de multinacionales, pues si bien la investigación empieza en Universidades y pequeños laboratorios de biología celular posteriormente son absorbidos por dichas multinacionales. En España, la capacidad empresarial es desfavorable, pero ésta es una posición general a nivel europeo, ya que las empresas más fuertes son de capital norteamericano.



## Se reducirá el volumen de material desgastado de las superficies articulares protésicas en un 70% como media

### Hipótesis 7

**IGI:** 3.61

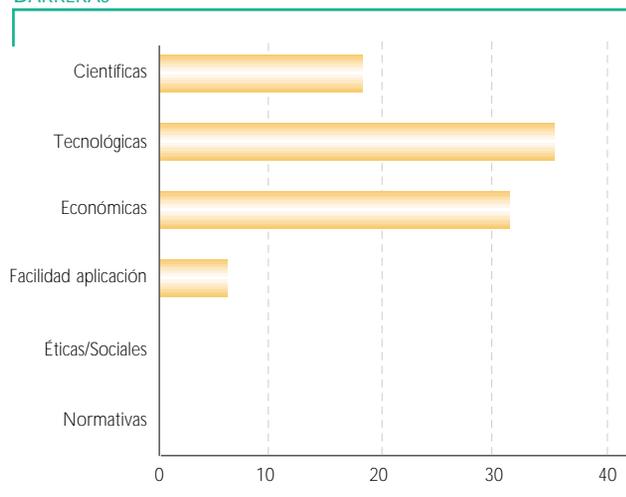
**Fecha materialización:** Hasta 2008

**Capacidad científica/tecnológica:** Favorable/  
Desfavorable

**Capacidad empresarial:** Desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Gran/Media escala

### BARRERAS



Esta hipótesis hace referencia principalmente a modificaciones de las propiedades de materiales ya existentes, razón por la cual el plazo de materialización se sitúa en el corto plazo. Hay que tener en cuenta que si se tratara de nuevos materiales, las restricciones legislativas serían muy exigentes, con lo que la fecha de materialización se situaría a más largo plazo.

En este caso, como el material (cerámico, metal y nuevos polietilenos entrecruzados) de las superficies articulares ya está desarrollado, la capacidad empresarial española es más favorable, existiendo empresas capaces de absorber estas tecnologías que suponen la modificación de materiales en uso o el desarrollo de nuevos tratamientos superficiales que mejoran su rugosidad.

En este sector, en general, el precio está muy regulado. Por esta razón existe cierta reticencia empresarial hacia la puesta en el mercado de nuevos desarrollos, siendo la mejora de los materiales existentes la tendencia de futuro. Paralelamente hay que tener en consideración el volumen del mercado diferente según de la especialidad de que se trate (traumatología, odontología...).

## Las prótesis cardiacas que requieren medicación anticoagulante de por vida serán sustituidas por bioprótesis fabricadas a partir de células madre o antólogas del paciente

### Hipótesis 14

**IGI:** 3.88

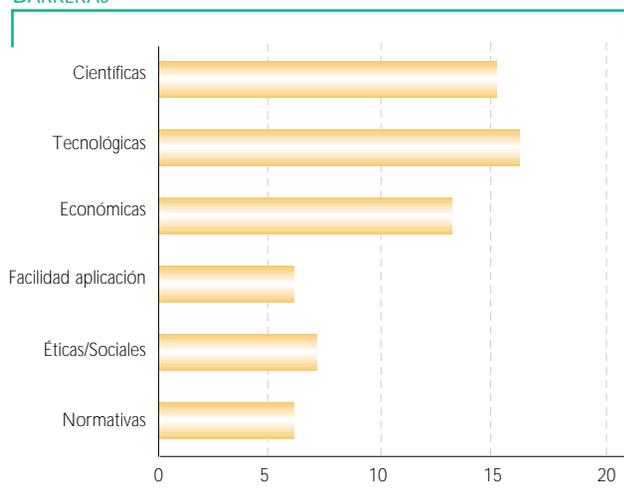
**Fecha materialización:** 2015-2019

**Capacidad científica/tecnológica:** Favorable/Desfavorable

**Capacidad empresarial:** Desfavorable/Muy desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Media

### BARRERAS



Como se puede apreciar se trata de una hipótesis considerada muy importante por los expertos pero todavía en estado muy embrionario y cuya fecha de materialización se sitúa a largo plazo (10-15 años).

Actualmente investigadores de la UNAM y del Instituto de Cardiología han conseguido diseñar una nuevas válvulas cardiacas dotadas de un anillo discontinuo fabricado con una aleación de metales base cobalto y un polímero bio-compatible que da forma y altura correcta a sus postes. Dichas válvulas pueden estar recubiertas de pericarpio bovino y porcino, a los que se añade un proceso anticalcificante que evita el consecuente depósito de sales de calcio y prolonga su vida útil hasta valores que alcanzan los 30 años, frente a las actuales cuya durabilidad media está estimada en 7 años. Estas investigaciones constituyen el primer paso hacia el desarrollo de bioprótesis fabricadas a partir de células madre del paciente, tal y como aparece en la hipótesis.

En Estados Unidos, principalmente, existen desarrollos a muy pequeña escala mediante la utilización de polímeros o tejidos a partir de proteínas, pero siempre en una etapa inicial. Por esta razón, existen barreras de todo tipo desde las tecnológicas y económicas hasta las de tipo ético-social, derivadas de la polémica sobre utilización de células madre, las normativas que deberán atravesar estos desarrollos para poder estar en el mercado o las dificultades que se pueden encontrar a la hora de su aplicación.



## Las nanotecnologías asociadas a la biología celular y molecular y a las TIC's convergerán en los futuros desarrollos que se produzcan en el campo de los Biomateriales

### Hipótesis 24

**IGI:** 3.68

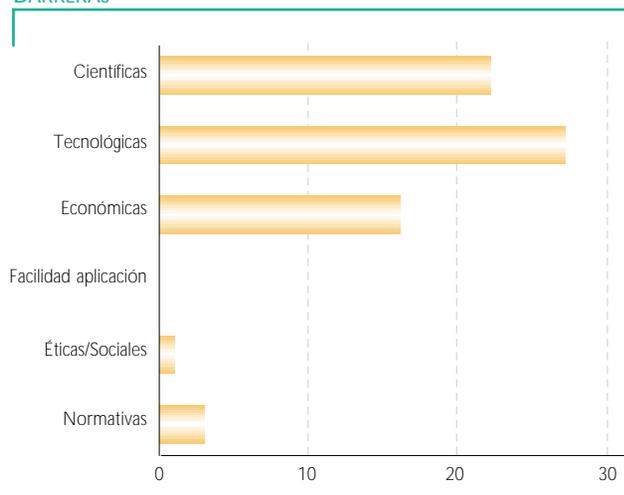
**Fecha Materialización:** 2015-2019

**Capacidad científica/tecnológica:** Favorable/Desfavorable

**Capacidad empresarial:** Desfavorable/Muy desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Gran/Media escala

### BARRERAS



Sin duda alguna, y en opinión de todos los expertos, en un futuro la convergencia de diferentes disciplinas (Nanotecnología-Biotecnología-Neurociencia y Tecnologías de la Información y Comunicación) dará lugar a una nueva era todavía por descubrir. En las investigaciones actuales cada vez se tiende más a la utilización de herramientas asociadas a la biología molecular y la nanotecnología. Este tipo de desarrollos requieren como requisito imprescindible equipos multidisciplinares en I+D.

Por otra parte, algunos equipos que actualmente trabajan en nanotecnología no se auto reconocen como especialistas en este campo, pues, al ser una nueva disciplina, los campos de actuación de la misma no están bien delimitados. Por ejemplo un factor de crecimiento es un desarrollo a nivel nano al tratarse de una molécula con capacidad de adhesión a la superficie del biomaterial.

Actualmente existen cinco equipos de investigadores reconocidos como especialistas en nanotecnología aplicada a este sector en Barcelona, Madrid, Valencia y País Vasco, si bien hay otros grupos trabajando en otros temas.

Para impulsar la investigación en este campo es necesario un importante apoyo de la Administración Pública que ayude a modificar algunas de las infraestructuras y normativas existentes. Un ejemplo de ello se encuentra en la Universidad donde se contrata por funciones docentes y resulta imposible que un grupo de investigación de ingenieros contrate a un biólogo para determinados trabajos que requieren ese conocimiento pluridisciplinario.

## El desarrollo de sistemas microelectrónicos biocompatibles permitirá la aplicación de sensores/actuadores implantables

### Hipótesis 3

**IGI:** 3.56

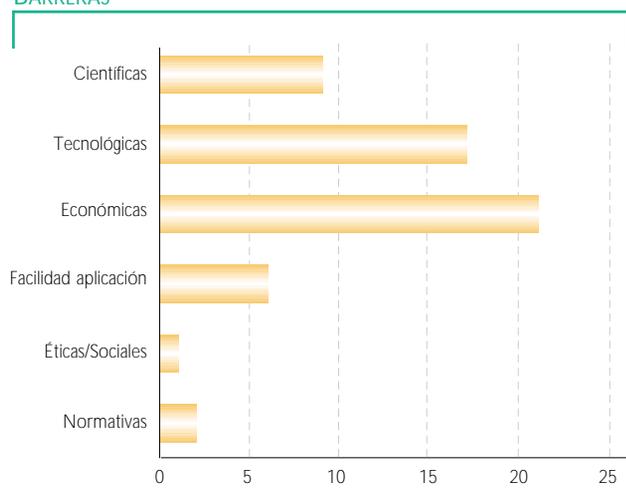
**Fecha materialización:** 2009-2014

**Capacidad científica/tecnológica:** Desfavorable

**Capacidad empresarial:** Desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Gran/Media escala

### BARRERAS



La limitación más importante para la implantación de este tipo de sistemas microelectrónicos es la necesidad de que sean biocompatibles. Se trata, por tanto, de un desarrollo tecnológico muy complejo en el que se lleva mucho tiempo trabajando, pero sobre el que se han realizado pocos avances.

Existen sensores de diabetes (insulina o glucosa) para medir el alojamiento protésico, si bien presentan algunos problemas relacionados con la biocompatibilidad, la vida útil del sensor o la relación coste-eficacia. No obstante, funcionan muy bien los sistemas de monitorización ex vivo.

Actualmente, se están aplicando stents vasculares con sensores, si bien se trata de actuaciones específicas sin una clara experiencia clínica. Asimismo, y a más largo plazo, se apunta la necesidad de avanzar en las investigaciones dirigidas a conseguir la implantación de electrodos y/o microchips inteligentes que permitan el control de enfermedades refractarias a la medicación crónica como el parkinson, la epilepsia, los trastornos convulsivos o el dolor.

El desafío más importante para estos desarrollos se encuentra en superar la, a veces, falta de cooperación entre los avances en microtecnología y en biotecnología, siendo éste un buen ejemplo de la necesaria convergencia de diferentes disciplinas para conseguir avances reales en este campo, como ya se ha comentado al analizar la hipótesis anterior.



## Se obtendrán esfínteres urinarios y fecales de accionamiento externo a voluntad del paciente fabricados con materiales biocompatibles, que resolverán graves problemas de incontinencia severa

### Hipótesis 15

**IGI:** 3.53

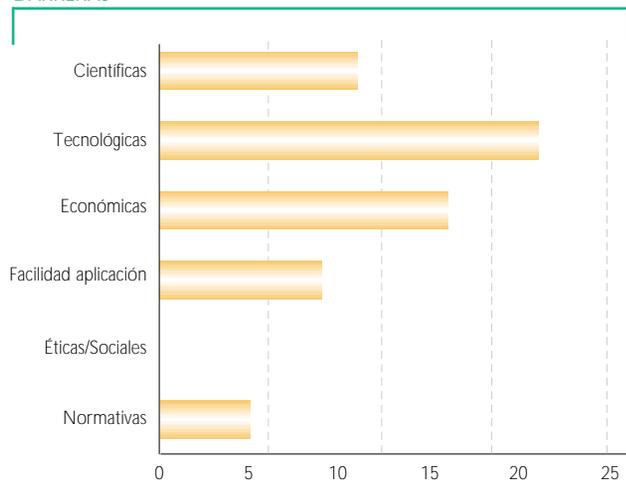
**Fecha materialización:** 2009-2014

**Capacidad científica/tecnológica:** Desfavorable

**Capacidad empresarial:** Desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Gran/Media escala

### BARRERAS



La incontinencia, tanto anal como urinaria, es un problema de gran trascendencia tanto clínica como social y que afecta, en mayor o menor grado, a un número representativo de la población, teniendo una incidencia más acusada en las mujeres.

Existen avances apreciables en el desarrollo de un esfínter anal artificial basado en un dispositivo implantable de elastómero de silicona que logra controlar la incontinencia fecal severa en un 92% de los casos. Otro de los dispositivos no quirúrgicos para el control de la incontinencia fecal es el denominado obturador anal, fabricado a base de una espuma de poliuretano que se presenta de forma comprimida, recubierto de una película de polivinilo que se disuelve al exponerse al calor y la humedad.

En el caso de los esfínteres urinarios artificiales, el AMS 800 está constituido íntegramente por elastómeros de silicona sólida e incorpora como elemento fundamental un sistema de desactivación a través de la manipulación de un botón en la bomba.

Existe, por tanto, una gran demanda de avances en este campo, por lo que se puede afirmar que se trata de una tendencia de futuro muy importante, si bien los especialistas en el tema coinciden en que actualmente no existen desarrollos relacionados con incontinencia urinaria en Biomateriales. Hoy por hoy, el principal grupo de investigación en España se ha formado en el Hospital Puerta del Hierro, que se encuentra colaborando con distintas empresas privadas para conseguir avanzar en el desarrollo de Biomateriales aplicables a un área de tan relevada importancia.

## Se desarrollará una sangre artificial biocompatible de origen transgénico o químico que servirá de soporte temporal en casos de grandes pérdidas de volumen sanguíneo

### Hipótesis 21

**IGI:** 3.65

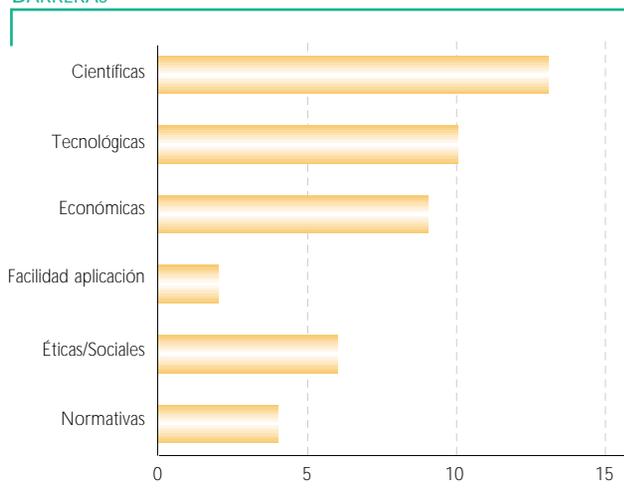
**Fecha materialización:** 2015-2019

**Capacidad científica/tecnológica:** Desfavorable

**Capacidad empresarial:** Muy desfavorable

**Amplitud de aplicación:** Gran escala

### BARRERAS



Si bien los datos obtenidos muestran que tanto el índice de respuesta como el grado de conocimiento de los especialistas han sido bajos en ambos casos, los panelistas coinciden en subrayar que es un tema de importancia máxima, a pesar de que en España no parece haber muchos especialistas en un tema, que adicionalmente tiene que superar grandes barreras éticas y legislativas.

Cabe decir que, a pesar de que aún no ha sido posible fabricar una sangre artificial como tal (completa) las últimas investigaciones en Europa y USA han dado como resultado la fabricación de uno de sus componentes: la hemoglobina, principal nutriente de oxígeno a las células.

Ha sido en el Instituto de Karolinska de Estocolmo donde se ha logrado elaborar, a partir de glóbulos rojos de sangre de donantes, una hemoglobina en polvo que puede almacenarse a temperatura ambiente durante años, sin que pierda sus principales propiedades. Los efectos observados en los pacientes a los que se les ha administrado son positivos; no produce rechazo ni efectos secundarios. En principio, las ventajas parecen muchas, ya que reemplaza el volumen de sangre perdido de forma inmediata y ayuda a transportar oxígeno en situaciones críticas, incluso con más rapidez que las células naturales. De esta forma se consigue un objetivo triple: una sangre universal, duradera y segura (sin posibilidad de que transmita infecciones). Se prevé que esta sustancia esté en el mercado en el plazo de dos años.

Otras vías de investigación se fundamentan en un producto basado en materiales fluorados, que pueden llegar a transportar una cantidad de oxígeno hasta cinco veces mayor que las células naturales. No obstante, y a pesar del gran avance científico que suponen estos nuevos desarrollos, la comunidad científica coincide en señalar que se trata de un primer paso hacia la obtención de una sangre totalmente sintética. El camino por recorrer aún es largo.

# Conclusiones

La mejora de la calidad de vida en los países desarrollados está conduciendo a un progresivo aumento de la esperanza de vida de la población. Según datos de la OMS, en el 2020 más de 1.000 millones de personas en el mundo superarán los 60 años y, de ellos, 710 millones vivirán en países desarrollados. Europa continuará siendo la región más "vieja" del mundo con aproximadamente 500 millones.

Este envejecimiento continuo de la población implica que muchas personas superarán la calidad de sus tejidos conectivos. Problemas como la osteoporosis, artritis, pérdida de densidad ósea o la obesidad, supondrán que una de cada dos mujeres y uno de cada cinco hombres mayores de 65 años sufrirá algún tipo de fractura, con lo que el mercado de productos para sustitución de articulaciones se espera que crezca entre un 5 y un 10 por ciento anualmente en las próximas décadas. Éste es sólo un ejemplo del mercado potencial de la industria de Biomateriales en un futuro próximo.

El sector de los Biomateriales es enormemente dinámico. La etapa inicial dominada por la *eliminación* de los tejidos u órganos dañados por la carencia de materiales adecuados, dio paso a una etapa mucho más fructífera dominada por

la *sustitución* de los mismos. Las tendencias actuales tienden a la *regeneración* de los tejidos, lo que implica una revolución en el campo de los Biomateriales. En la ingeniería de tejidos, los Biomateriales tienen como función ser los soportes o matrices sobre los cuales se pueden desarrollar tejidos biológicos. Células y Biomateriales son los componentes principales de los materiales compuestos elaborados a partir de la ingeniería de tejidos. A más largo plazo, las tendencias apuntan al uso de la terapia génica para regenerar tejidos sin necesidad de utilizar matrices.

Es evidente que España es un importante país receptor de Biomateriales pero no fabricante de los mismos, siendo la mayoría de ellos importados de Estados Unidos, Suiza y Alemania. Este hecho es tanto más preocupante cuando se observa que, lo que sí existe en nuestro país, es una posición moderadamente optimista en lo que se refiere a la capacidad de investigación y desarrollo tecnológico, que no llega a materializarse en la existencia de empresas españolas que absorban ese conocimiento.

Las razones de esta situación son de diversa índole. Por una parte, tanto el tiempo como el gasto económico que exige un desarrollo biomédico en España es el doble que el invertido en otros países como el Reino Unido. Una de las principales razones de este hecho se encuentra en la normativa que se exige para la puesta en el mercado de productos innovadores. Los ensayos clínicos necesarios en España son mucho más complejos, lo que da lugar a procesos infinitamente más lentos y costosos en nuestro país que en otros países europeos como Suecia o el Reino Unido. Por tanto, una de las recomendaciones para impulsar el sector es articular medidas para racionalizar y agilizar la normativa, implicando al sector clínico.

Como ejemplos de investigaciones que se están llevando a cabo actualmente en España, el Centro de Investigación en

Ingeniería Biomédica de la UPC cuenta con dos líneas principales de trabajo. Por un lado, están llevando a cabo varios estudios en el campo de los materiales inteligentes, compuestos por plásticos y polímeros mezclados con proteínas para la liberación controlada de fármacos, y adicionalmente investigan, de manera activa, el desarrollo de materiales con memoria de forma (se trata de Biomateriales muy elásticos, que tienen la capacidad de cambiar de forma cuando varía la temperatura del ambiente).

Otro ejemplo de investigación aplicada es la actividad desarrollada por el Instituto de Biomecánica de Valencia en relación a los estudios llevados a cabo con proteínas morfogenéticas óseas en el tratamiento de fracturas y en los proyectos vinculados a prótesis articulares en los que se caracteriza el desgaste de los componentes protésicos que han sido fabricados con nuevos Biomateriales.

Por su parte, el Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Vigo con sede en la E.T.S. de Ingenieros Industriales, investiga sobre materiales biomórficos que puedan estar dotados de bioactividad, tanto en su aplicación en implantes dentales y ortopédicos como en ingeniería de tejidos.

Actualmente, algunas empresas que podríamos denominar como tradicionales dentro del sector de la salud están diversificando sus actividades hacia productos biotecnológicos, lo que supondrá a corto plazo un incremento de la facturación de dichos productos por encima de la media actual del sector de Traumatología/Ortopedia.

Respecto al modelo de negocio, los expertos opinan que existe una importante oportunidad para pequeñas y medianas empresas muy focalizadas en uno o dos desarrollos. Dichas empresas pueden ser spin-off creadas para productos de nicho. Para todo ello es necesario



incrementar las relaciones entre investigadores y empresas, y facilitar la movilidad y permeabilidad entre ambos ámbitos.

El sector clínico se presenta como uno de los grandes impulsores y protagonistas del desarrollo del sector de Biomateriales. Para ello, el médico debería poder liberarse en alguna medida de sus actividades clínicas para implicarse más en la actividad empresarial y, de la mano de la empresa, solicitar el apoyo de investigadores y tecnólogos en aquellos campos de interés para las ciencias de la salud. De la misma manera, se deben poner en marcha acciones que faciliten una comunicación más fluida en centros de investigación y empresas del sector. En este sentido, se recomienda la creación de foros de encuentro a tres bandas —investigadores, clínicos y empresas— para debatir el presente y futuro de los Biomateriales.

Con respecto al mercado, hay que tener en consideración que se trata de un mercado único bajo el control económico de la Seguridad Social. Este hecho condiciona el desarrollo empresarial desde su diseño hasta su posterior evolución pero, a la vez, puede ser también fácilmente estimulado y monitorizado desde la Seguridad Social mediante acciones específicas.

Finalmente, es preciso destacar un aspecto clave que condiciona la evolución del sector y es la necesidad de formar equipos multidisciplinares. Ingenieros, biólogos, informáticos y médicos deben poner en común sus conocimientos para impulsar la investigación y el desarrollo en el sector de los Biomateriales. Por ello, deben eliminarse las trabas que existen actualmente en las escuelas técnicas a la hora de incorporar especialistas en ingeniería biomédica. Una medida propuesta es la creación de cátedras de patrocinio de Biomateriales para financiar proyectos de investigación.



# Anexo 1

## Listado miembros del panel de expertos

| Experto                        | Procedencia           | Institución  |
|--------------------------------|-----------------------|--|
| Jose Luis González Carrasco    | Investigación         | CENIM – Departamento Metalurgia física   |
| Luis Munuera                   | Profesional sanitario | Hospital La Paz – Traumatología  |
| Eduardo Jorge Herrero          | Profesional sanitario | Hospital Universitario Puerta de Hierro –<br>Cirugía experimental.<br>Biomateriales  |
| Luis Felipe Rodríguez Burrieza | Industrial            | IDEMSA   |
| José Iñaki Álava Marquínez     | Investigación         | Fundación INASMET – Productos biométicos   |
| José Luis Peris Serra          | Investigación         | Instituto de biomecánica de Valencia (IBV)   |
| Juan Manuel Campos Llorens     | Industrial            | Industrias quirúrgicas de Levante S.L. (IQL) –<br>Calidad                            |
| Betty León Fong                | Universidad           | Universidad de Vigo.<br>Escuela Técnica Superior de Ingenieros                       |
| José Antonio Planell           | Universidad           | Universidad Politécnica Cataluña -<br>Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica |
| Francisco Javier Gil Mur       | Universidad           | Universidad Politécnica Cataluña -<br>Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica |

# Anexo II

|   | Cuestionario Delphi.<br>Biomateriales   | Nivel de conocimiento |       |      | Grado de Importancia |       |      |             | Fecha de materialización |           |           |            | Amplitud de aplicación |                |             |                  | Limitaciones y barreras |             |              |            | Capacidad científica |                 |            | Capacidad empresarial |            |            |      |      |            |            |      |
|---|---|-----------------------|-------|------|----------------------|-------|------|-------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|------------------------|----------------|-------------|------------------|-------------------------|-------------|--------------|------------|----------------------|-----------------|------------|-----------------------|------------|------------|------|------|------------|------------|------|
|   |   | Alto                  | Medio | Bajo | Alto                 | Medio | Bajo | Irrelevante | Hasta 2008               | 2009-2014 | 2015-2019 | < del 2020 | Nunca                  | No se aplicará | Testimonial | Aplicación media | A gran escala           | Científicas | Tecnológicas | Económicas | Facilidad aplic.     | Éticas/Sociales | Normativas | Alta                  | Medio-Alta | Medio-Baja | Baja | Alta | Medio-Alta | Medio-Baja | Baja |
| 1 | El desarrollo de las tecnologías que se utilizan en la ingeniería de tejidos permitirá la reparación, regeneración, etc., de tejidos e incluso órganos del cuerpo humano              | 15                    | 38    | 21   | 45                   | 7     | 1    | 0           | 5                        | 26        | 10        | 12         | 0                      | 0              | 3           | 28               | 22                      | 24          | 25           | 32         | 10                   | 10              | 17         | 4                     | 16         | 30         | 3    | 1    | 10         | 17         | 25   |
| 2 | La disponibilidad de implantes obtenidos o generados mediante Ingeniería de Tejidos permitirá modificar algunas de las actuales técnicas quirúrgicas invasivas de forma significativa | 12                    | 42    | 18   | 39                   | 14    | 3    | 0           | 11                       | 22        | 14        | 9          | 0                      | 0              | 6           | 29               | 21                      | 23          | 29           | 38         | 14                   | 6               | 10         | 10                    | 14         | 27         | 5    | 3    | 12         | 19         | 22   |

| Cuestionario Delphi.<br>Biomateriales |   | Nivel de conocimiento |       |      | Grado de importancia |       |      |             | Fecha de materialización |           |           |            | Amplitud de aplicación |                |             |                  | Limitaciones y barreras |             |              |            | Capacidad científica |                 |            | Capacidad empresarial |            |            |      |      |            |            |      |
|---------------------------------------|---|-----------------------|-------|------|----------------------|-------|------|-------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|------------------------|----------------|-------------|------------------|-------------------------|-------------|--------------|------------|----------------------|-----------------|------------|-----------------------|------------|------------|------|------|------------|------------|------|
|                                       |   | Alto                  | Medio | Bajo | Alto                 | Medio | Bajo | Irrelevante | Hasta 2008               | 2009-2014 | 2015-2019 | < del 2020 | Nunca                  | No se aplicará | Testimonial | Aplicación media | A gran escala           | Científicas | Tecnológicas | Económicas | Facilidad aplic.     | Éticas/Sociales | Normativas | Alta                  | Medio-Alta | Medio-Baja | Baja | Alta | Medio-Alta | Medio-Baja | Baja |
| 3                                     | El desarrollo de sistemas microelectrónicos biocompatibles permitirá la aplicación de sensores/actuadores implantables  | 9                     | 22    | 41   | 18                   | 14    | 0    | 0           | 3                        | 18        | 8         | 3          | 0                      | 0              | 0           | 18               | 14                      | 9           | 17           | 21         | 6                    | 1               | 2          | 4                     | 11         | 15         | 2    | 1    | 8          | 14         | 9    |
| 4                                     | La optimización de los actuales procesos de fabricación y tratamientos superficiales no incorporan mejoras significativas en el comportamiento en uso de los Biomateriales  | 22                    | 28    | 21   | 18                   | 20    | 8    | 4           | 28                       | 11        | 6         | 1          | 4                      | 2              | 3           | 31               | 13                      | 15          | 29           | 24         | 5                    | 0               | 3          | 7                     | 16         | 25         | 2    | 3    | 14         | 26         | 7    |
| 5                                     | Existirá material bioactivo implantable y modelable a medida en el propio quirófano   | 20                    | 33    | 21   | 38                   | 11    | 3    | 1           | 12                       | 17        | 9         | 13         | 2                      | 2              | 4           | 31               | 16                      | 21          | 32           | 26         | 11                   | 1               | 7          | 5                     | 12         | 24         | 11   | 3    | 9          | 18         | 22   |
| 6                                     | Existirá material de implante que llegará a osteointegrarse en breves plazos de tiempo  | 36                    | 25    | 13   | 53                   | 8     | 0    | 0           | 20                       | 26        | 10        | 4          | 0                      | 1              | 0           | 24               | 36                      | 25          | 30           | 28         | 6                    | 0               | 4          | 8                     | 27         | 19         | 7    | 6    | 11         | 32         | 12   |
| 7                                     | Se reducirá el volumen de material desgastado de las superficies articulares protésicas en un 70% como media  | 26                    | 29    | 19   | 36                   | 15    | 3    | 0           | 24                       | 19        | 10        | 1          | 0                      | 0              | 2           | 27               | 24                      | 18          | 35           | 31         | 6                    | 0               | 0          | 4                     | 23         | 23         | 4    | 4    | 16         | 25         | 9    |
| 8                                     | Mejorará la biocompatibilidad de las aleaciones metálicas con el desarrollo de otras nuevas exentas de elementos alergénicos y citotóxicos  | 26                    | 36    | 12   | 34                   | 24    | 3    | 1           | 17                       | 27        | 11        | 6          | 1                      | 1              | 4           | 32               | 24                      | 26          | 41           | 36         | 7                    | 1               | 9          | 6                     | 21         | 25         | 8    | 4    | 12         | 26         | 18   |
| 9                                     | La supervivencia a largo plazo de los implantes se incrementará con el empleo de materiales que mejoren la regeneración natural de los tejidos, tanto en su estructura como en sus funciones metabólica, bioquímica y biomecánica | 29                    | 35    | 9    | 55                   | 10    | 0    | 0           | 5                        | 31        | 14        | 14         | 0                      | 0              | 0           | 31               | 34                      | 34          | 38           | 41         | 7                    | 2               | 9          | 6                     | 19         | 31         | 8    | 5    | 10         | 24         | 26   |



| Cuestionario Delphi.<br>Biomateriales |   | Nivel de conocimiento |       |      | Grado de importancia |       |      |             | Fecha de materialización |           |           |            | Amplitud de aplicación |                |             | Limitaciones y barreras |               |             |              | Capacidad científica |                  |                 | Capacidad empresarial |      |            |            |      |      |            |            |      |
|---------------------------------------|---|-----------------------|-------|------|----------------------|-------|------|-------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|------------------------|----------------|-------------|-------------------------|---------------|-------------|--------------|----------------------|------------------|-----------------|-----------------------|------|------------|------------|------|------|------------|------------|------|
|                                       |   | Alto                  | Medio | Bajo | Alto                 | Medio | Bajo | Irrelevante | Hasta 2008               | 2009-2014 | 2015-2019 | < del 2020 | Nunca                  | No se aplicará | Testimonial | Aplicación media        | A gran escala | Científicas | Tecnológicas | Económicas           | Facilidad aplic. | Éticas/Sociales | Normativas            | Alta | Medio-Alta | Medio-Baja | Baja | Alta | Medio-Alta | Medio-Baja | Baja |
| 10                                    | Las prótesis estarán dotadas de un sistema de seguridad que emitirá algún tipo de señal cuando sufran alteraciones críticas durante su uso  | 11                    | 31    | 32   | 15                   | 12    | 11   | 4           | 1                        | 13        | 12        | 11         | 3                      | 3              | 14          | 21                      | 2             | 14          | 29           | 23                   | 5                | 3               | 3                     | 2    | 12         | 17         | 9    | 0    | 6          | 18         | 16   |
| 11                                    | La implantación de sistemas con electrodos o/y microchips inteligentes, permitirá el control de enfermedades refractarias a la medicación crónica como son el parkinson, la epilepsia, trastornos convulsivos o dolor   | 5                     | 24    | 44   | 21                   | 6     | 3    | 0           | 7                        | 7         | 9         | 7          | 0                      | 0              | 1           | 16                      | 12            | 12          | 18           | 14                   | 9                | 3               | 4                     | 3    | 8          | 15         | 3    | 0    | 6          | 10         | 13   |
| 12                                    | El diseño de materiales biocompatibles permitirá fabricar una lente intraocular acomodativa (que tenga poder de acomodación y permita ver correctamente tanto de cerca como de lejos)   | 8                     | 17    | 48   | 18                   | 5     | 2    | 0           | 4                        | 11        | 6         | 3          | 0                      | 0              | 0           | 16                      | 9             | 12          | 11           | 12                   | 5                | 0               | 1                     | 3    | 9          | 8          | 3    | 1    | 5          | 14         | 3    |
| 13                                    | La aparición de lentes intraoculares de materiales biocompatibles cada vez más finas, que puedan ser introducidas en el ojo a través de una mínima incisión, disminuirá los efectos posquirúrgicos, el tiempo de la intervención y la recuperación del paciente | 7                     | 20    | 46   | 19                   | 6     | 2    | 0           | 8                        | 11        | 7         | 0          | 0                      | 0              | 1           | 11                      | 14            | 12          | 14           | 9                    | 4                | 0               | 3                     | 4    | 12         | 8          | 1    | 3    | 5          | 9          | 8    |
| 14                                    | Las prótesis cardíacas que requieren medicación anticoagulante de por vida serán sustituidas por bioprótesis fabricadas a partir de células madre o autólogas del paciente  | 8                     | 24    | 41   | 28                   | 4     | 0    | 0           | 2                        | 9         | 14        | 7          | 0                      | 0              | 2           | 18                      | 12            | 15          | 16           | 13                   | 6                | 7               | 6                     | 4    | 10         | 14         | 3    | 0    | 7          | 11         | 13   |

| Cuestionario Delphi.<br>Biomateriales |  | Nivel de conocimiento |       |      | Grado de importancia |       |      |             | Fecha de materialización |           |           |            | Amplitud de aplicación |                |             | Limitaciones y barreras |               |             |              |            | Capacidad científica |                 |            | Capacidad empresarial |            |            |      |      |            |            |      |
|---------------------------------------|--|-----------------------|-------|------|----------------------|-------|------|-------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|------------------------|----------------|-------------|-------------------------|---------------|-------------|--------------|------------|----------------------|-----------------|------------|-----------------------|------------|------------|------|------|------------|------------|------|
|                                       |  | Alto                  | Medio | Bajo | Alto                 | Medio | Bajo | Irrelevante | Hasta 2008               | 2009-2014 | 2015-2019 | < del 2020 | Nunca                  | No se aplicará | Testimonial | Aplicación media        | A gran escala | Científicas | Tecnológicas | Económicas | Facilidad aplic.     | Éticas/Sociales | Normativas | Alta                  | Medio-Alta | Medio-Baja | Baja | Alta | Medio-Alta | Medio-Baja | Baja |
| 15                                    | Se obtendrán esfínteres urinarios y fecales de accionamiento externo a voluntad del paciente fabricados con materiales biocompatibles, que resolverán graves problemas de incontinencia severa   | 6                     | 24    | 44   | 16                   | 14    | 0    | 0           | 5                        | 12        | 9         | 4          | 0                      | 0              | 4           | 18                      | 8             | 11          | 21           | 16         | 9                    | 0               | 5          | 3                     | 11         | 14         | 1    | 1    | 7          | 17         | 4    |
| 16                                    | Se implantarán sistemas de dispensación de fármacos para tratamientos de larga duración que tendrán una respuesta adaptativa del material utilizado  | 11                    | 27    | 35   | 27                   | 10    | 1    | 0           | 5                        | 21        | 8         | 4          | 0                      | 0              | 0           | 14                      | 24            | 17          | 21           | 23         | 6                    | 2               | 8          | 6                     | 16         | 14         | 2    | 2    | 9          | 13         | 14   |
| 17                                    | Las matrices tisulares permitirán la coaptación y reparación de lesiones de partes blandas, sin emplear gasas ni apósitos  | 11                    | 25    | 37   | 15                   | 16    | 4    | 1           | 6                        | 18        | 7         | 5          | 0                      | 0              | 4           | 17                      | 15            | 20          | 14           | 17         | 4                    | 0               | 3          | 5                     | 9          | 17         | 4    | 1    | 5          | 17         | 12   |
| 18                                    | El desarrollo de determinados tratamientos (liberación local de fármacos, tratamientos para la mejora de la biocompatibilidad de las partículas liberadas, etc.) disminuirá la reacción adversa de los tejidos frente a las partículas de desgaste | 16                    | 36    | 21   | 30                   | 15    | 5    | 2           | 4                        | 23        | 13        | 7          | 5                      | 5              | 5           | 28                      | 14            | 34          | 21           | 23         | 10                   | 1               | 5          | 5                     | 18         | 23         | 5    | 3    | 7          | 26         | 15   |
| 19                                    | Se generalizará la utilización de factores de crecimiento óseo para la reparación de grandes defectos óseos  | 24                    | 33    | 16   | 39                   | 14    | 4    | 0           | 16                       | 19        | 14        | 6          | 1                      | 1              | 5           | 27                      | 24            | 26          | 20           | 35         | 8                    | 1               | 9          | 6                     | 23         | 24         | 4    | 7    | 13         | 25         | 12   |
| 20                                    | Las técnicas de implantación autóloga de condrocitos supondrán un método de amplia utilización y eficacia en la reparación de defectos condrales de rodilla  | 20                    | 26    | 26   | 24                   | 16    | 6    | 0           | 18                       | 16        | 6         | 5          | 1                      | 0              | 9           | 27                      | 9             | 19          | 21           | 33         | 8                    | 0               | 8          | 5                     | 19         | 20         | 1    | 7    | 3          | 21         | 14   |



| Cuestionario Delphi.<br>Biomateriales |   | Nivel de conocimiento |       |      | Grado de importancia |       |      | Fecha de materialización |            |           |           | Amplitud de aplicación |       |                | Limitaciones y barreras |                  |               |             | Capacidad científica |            |                  | Capacidad empresarial |            |      |            |            |      |      |            |            |      |
|---------------------------------------|---|-----------------------|-------|------|----------------------|-------|------|--------------------------|------------|-----------|-----------|------------------------|-------|----------------|-------------------------|------------------|---------------|-------------|----------------------|------------|------------------|-----------------------|------------|------|------------|------------|------|------|------------|------------|------|
|                                       |   | Alto                  | Medio | Bajo | Alto                 | Medio | Bajo | Irrelevante              | Hasta 2008 | 2009-2014 | 2015-2019 | < del 2020             | Nunca | No se aplicará | Testimonial             | Aplicación media | A gran escala | Científicas | Tecnológicas         | Económicas | Facilidad aplic. | Éticas/Sociales       | Normativas | Alta | Medio-Alta | Medio-Baja | Baja | Alta | Medio-Alta | Medio-Baja | Baja |
| 21                                    | Se desarrollará una sangre artificial biocompatible de origen transgénico o químico que servirá de soporte temporal en casos de grandes pérdidas de volumen sanguíneo   | 4                     | 15    | 54   | 15                   | 4     | 0    | 1                        | 3          | 6         | 6         | 4                      | 1     | 1              | 2                       | 7                | 10            | 13          | 10                   | 9          | 2                | 6                     | 4          | 1    | 4          | 11         | 3    | 1    | 2          | 7          | 9    |
| 22                                    | La optimización de las tecnologías aplicables y el ajuste de los costes de producción, permitirá una penetración más generalizada en el mercado de los factores de crecimiento óseo   | 13                    | 35    | 25   | 29                   | 15    | 1    | 2                        | 15         | 18        | 11        | 3                      | 0     | 2              | 2                       | 26               | 16            | 11          | 23                   | 36         | 5                | 1                     | 3          | 4    | 16         | 23         | 4    | 7    | 7          | 18         | 15   |
| 23                                    | Algunos sectores empresariales tradicionales diversificarán sus actividades hacia productos biotecnológicos, lo que supondrá un incremento de la facturación de dichos productos por encima de la media actual del sector Traumatología/Ortopedia | 18                    | 31    | 24   | 26                   | 20    | 1    | 2                        | 14         | 25        | 7         | 3                      | 0     | 1              | 2                       | 34               | 10            | 4           | 18                   | 38         | 10               | 2                     | 9          | 3    | 18         | 23         | 4    | 3    | 10         | 27         | 8    |
| 24                                    | Las Nanotecnologías asociadas a la Biología Celular y Molecular y a las TIC's convergerán en los futuros desarrollos que se produzcan en el campo de los Biomateriales  | 10                    | 27    | 33   | 27                   | 10    | 1    | 0                        | 5          | 10        | 19        | 5                      | 0     | 0              | 2                       | 19               | 18            | 22          | 27                   | 16         | 0                | 1                     | 3          | 3    | 16         | 15         | 5    | 0    | 7          | 15         | 17   |

Patronato de la  
Fundación Observatorio  
de Prospectiva  
Tecnológica Industrial

MIN. Ministerio de Industria, Turismo  
y Comercio

CDTI. Centro para el Desarrollo  
Tecnológico Industrial

CIEMAT. Centro de Investigaciones  
Energéticas, Medioambientales y  
Tecnológicas

CSIC. Consejo Superior de  
Investigaciones Científicas

IDAE. Instituto para la Diversificación  
y Ahorro de Energía

OEPM. Oficina Española de Patentes y  
Marcas

FECYT. Fundación Española para la  
Ciencia y la Tecnología

Fundación EOI

AINIA. Instituto Tecnológico  
Agroalimentario

Fundación ASCAMM

CITMA. Centro de Innovación  
Tecnológica del Medio Ambiente

Fundación ICT. Institut Català de  
Tecnologia

Fundación INASMET

INESCOP. Instituto Tecnológico del  
Calzado y Conexas

IQS. Institut Químic de Sarrià

Fundación Genoma España

