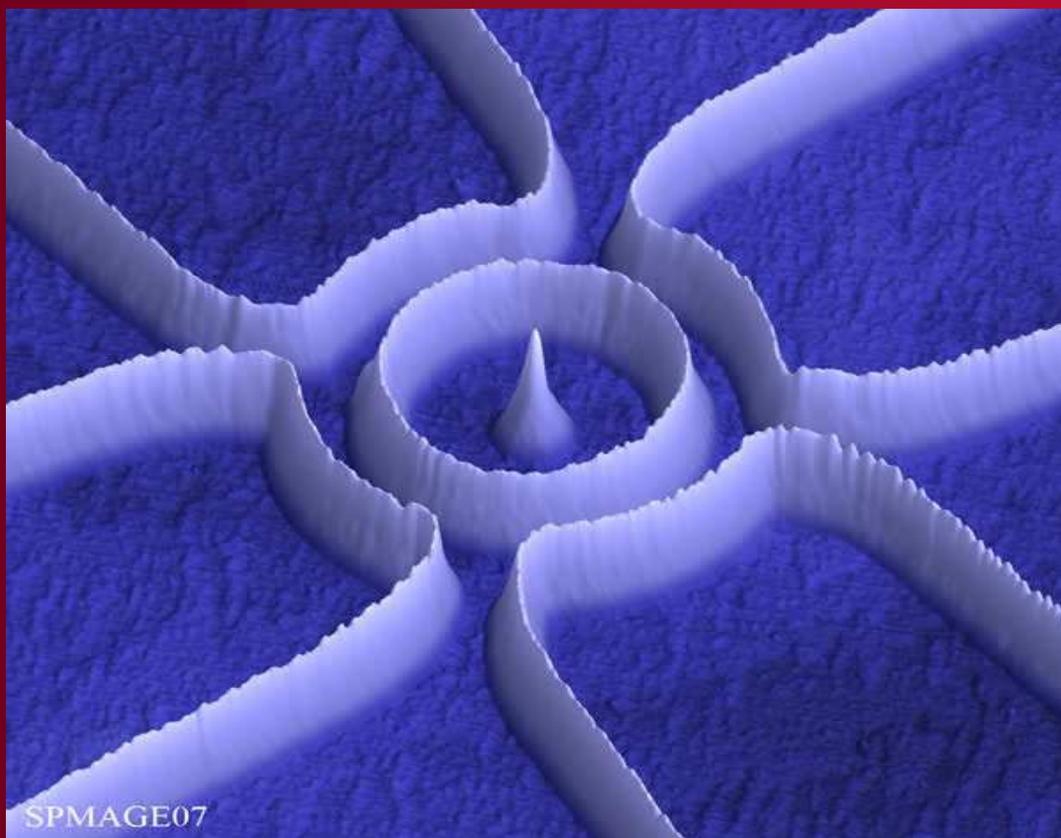


# Comprensión pública de la nanociencia y la nanotecnología. Informe de los resultados de un estudio Delphi



Comprensión pública de la nanociencia y la nanotecnología.  
Informe de los resultados de un estudio Delphi

Javier Gómez Ferri  
GRISON / Departamento de Sociología y Antropología Social  
Universitat de València

[javier.gomez-ferri@uv.es](mailto:javier.gomez-ferri@uv.es)

Imagen de la cubierta: "nano rings"  
Andreas Fuhrer. ETH Zürich,  
<http://www.icmm.csic.es/spmage/spmageview.php?id=14>

*Título del Informe:* Comprensión pública de la nanociencia y la nanotecnología.  
Informe de los resultados de un estudio Delphi.

*Responsable:* Javier Gómez Ferri

*Informe:* nº 2

*Colaboradores:* José Manuel de Cózar Escalante, Ramón Llopis Goig y  
Guillermo Muñoz Matutano

*Fecha:* Septiembre de 2013

## DOCUMENTOS DE TRABAJO DE GRISON – GRISON WORKING PAPERS

El propósito de esta colección es hacer accesible una serie de documentos y otros materiales a los diferentes agentes y sectores sociales con el fin de favorecer un proceso de diálogo sobre los aspectos sociales de la ciencia y la tecnología.

Estos materiales son producidos por miembros de GRISON  
(Grupo de Investigación Social en Nanotecnología).

Este documento se puede citar o usar dentro de las convenciones académicas.

Se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que se mantenga el reconocimiento de sus autores, no se haga uso comercial de las obras y no se realice ninguna modificación de las mismas.

Los derechos de autor de tales documentos pertenecen a los autores de los mismos y alguna parte o versión de ellos ha podido ser enviada para su publicación. Puede comprobar en la sección “Documentos” la referencia exacta de las posibles publicaciones.  
<http://jcozar.webs.ull.es/index.html>

3

### GRISON (GRUPO DE INVESTIGACIÓN SOCIAL EN NANOTECNOLOGÍA)

Dirección Postal:  
José Manuel de Cózar  
Facultad de Filosofía  
Campus de Guajara  
38071-La Laguna (Tenerife)  
España  
<http://jcozar.webs.ull.es/index.html>



# Presentación

El presente informe recoge los principales resultados de una investigación realizada entre expertos sobre comprensión pública de la nanociencia y la nanotecnología. La nanociencia y la nanotecnología constituyen un ámbito emergente del conocimiento sobre el que hay grandes expectativas de desarrollo. También existen incertidumbres sobre su futuro. Alguna de ellas está relacionada con el desconocimiento que la opinión pública tiene sobre este ámbito, así como a las actitudes que pueda adoptar al respecto.

En la actualidad, el efecto y la relevancia creciente que tiene el conocimiento científico-técnico en las diversas facetas de la vida social contrasta fuertemente con el desconocimiento que la mayor parte de la sociedad tiene sobre cuestiones de ciencia y tecnología. Es un hecho que el conocimiento científico y tecnológico resulta muchas veces extraño e incomprensible a la mayoría de las personas.

Sin embargo, cada vez está más extendida la idea de que es necesario que los individuos de las sociedades tecnológica y económicamente desarrolladas conozcan el mayor número de cosas sobre ciencia y tecnología, así como que sean tenidos en cuenta o, incluso, que participen de alguna manera en las decisiones que se tomen sobre tales cuestiones, sobre todo en la medida en que puedan afectarles. Es más; los factores que inciden sobre la dinámica de la ciencia y la tecnología, así como el alcance de sus efectos están llevando a plantear nuevos marcos de gestión de los asuntos públicos en los que participen los diversos actores sociales implicados.

En relación con este déficit público de conocimiento, que es uno de los obstáculos principales para una gobernanza de la ciencia y la tecnología, parece observarse un cambio de tendencia. Este cambio se puede ver reflejado, por ejemplo, en hechos como: a) la institucionalización del fomento y apoyo a las iniciativas de promoción y estudio de la cultura científica; b) el creciente interés de los científicos y tecnólogos por divulgar su actividad; y c) un progresivo aumento del interés, atención e implicación de la ciudadanía por la ciencia y la tecnología.

A pesar de todo ello, los estudios realizados sobre el nivel de cultura científica de la población española siguen encontrando la existencia de niveles muy bajos de conocimiento, sobre todo en comparación con los países de nuestro entorno; y un interés entre moderado y bajo. En el caso de la nanotecnología, los niveles de conocimiento y familiaridad de la población española lo son aún más. Junto a esto, también se detecta poca implicación y cierta desorientación entre los agentes sociales que pueden contribuir a difundir su conocimiento entre la sociedad.

De hecho, ese ha sido el germen y acicate para emprender el estudio del que es resultado el presente informe. Motivados por la existencia entre algunos de los miembros pertenecientes al Grupo de Investigación Social en Nanotecnología (GRISON) de cierta inquietud y sensibilidad ante el problema señalado, el informe se ha desarrollado en colaboración con los miembros de dicho grupo, y en el seno del Departamento de Sociología y Antropología social de la Universitat de València.

Dada la situación descrita, el objetivo del estudio ha sido el de estructurar un conjunto de información básica que pueda ser utilizada para facilitar el acercamiento del conocimiento de la nanociencia y la nanotecnología a la sociedad española y, en tal sentido, poder contribuir al aumento de su cultura científica. A tal fin se eligió el método o técnica Delphi, que permite generar conocimiento gracias al concurso de un conjunto de expertos. A todos ellos les agradecemos el haber participado en esta investigación.

En cuanto a la estructura del Informe, los resultados propiamente dichos del estudio aparecen recogidos en el capítulo IV. Allí, en primer lugar se exponen los que conciernen a la vertiente de asesoramiento u orientación, que está centrada en contenidos de tipo conceptual o incluso procedimental. Ese apartado va seguido de otro dedicado a aquellos conceptos de mayor dificultad, así como de los que pueden ser más fácilmente malinterpretados. Tras ello, se recoge la vertiente prospectiva, que está centrada en la previsión o anticipación de las consecuencias futuras de la nanociencia y la nanotecnología, concretada en los beneficios actuales como futuros y en sus posibles riesgos.

Los tres capítulos que preceden a los Resultados están dedicados, los dos primeros, a contextualizar la temática y la problemática del estudio; y, el tercero, a exponer la metodología empleada para su realización.

# Índice

7	<b>I. Introducción</b>
12	<b>II. Metodología del estudio</b>
13	1. Objetivos de la investigación
14	2. Técnica de investigación
14	3. Elaboración de los cuestionarios
19	<b>III. Diagnóstico sobre la comprensión pública de la nanociencia y la nanotecnología en España y de su problemática</b>
19	1. La comprensión y percepción pública de la ciencia y la tecnología
20	2. La comprensión y percepción pública de la nanociencia y la nanotecnología
30	3. La comunicación pública de la nanociencia y la nanotecnología y sus dificultades
30	3.1 <i>Las dificultades de comprensión de la nanociencia y la nanotecnología</i>
32	3.2 <i>Déficits y desajustes en la comprensión y comunicación de la nanotecnología en España</i>
42	<b>IV. Resultados del estudio</b>
42	1. Contenidos públicos básicos de la nanociencia y la nanotecnología
45	2. Contenidos públicos básicos de especial dificultad
49	3. Cuestiones de nanociencia y la nanotecnología que más fácilmente pueden prestarse a ser mal comprendidas o malinterpretadas por el público
56	4. Beneficios y riesgos de la nanociencia y la nanotecnología
66	<b>Conclusiones</b>
71	<b>Referencias bibliográficas</b>
77	<b>Anexo. Listado de participantes en el panel de expertos</b>

# I. Introducción

En las llamadas sociedades del conocimiento (sociedades tecnológica y económicamente avanzadas en las que el desarrollo y aplicación del conocimiento científico, la I+D+i, es característica central, y casi norma) llama poderosamente la atención el gran desconocimiento que los ciudadanos tienen sobre temas de índole científica y tecnológica; es decir, la existencia de una incultura científica importante. Esta es una de las paradojas -y también riesgo que- aqueja a la sociedad del conocimiento.

El caso de España es muy significativo al respecto. Según datos de los Eurobarómetros que periódicamente realiza la Comisión Europea y de estudios recientes más específicos, los niveles de cultura científica de la sociedad española se encuentran entre los más bajos de Europa, lo cual contrasta con la posición científica que ocupa la investigación española en el ranking europeo y mundial.

En todo caso, si esta paradoja se hace evidente hoy en día lo es también debido a la reconfiguración contemporánea de las relaciones entre ciencia y sociedad. Es difícil señalar un momento concreto para ese cambio. Más bien se trata de un proceso que empieza a dar trazas tras la Segunda guerra mundial y que se consolida alrededor de la década de los 80 del siglo XX. Podemos decir que en ese proceso de cambio los ciudadanos pasan a encontrarse relacionados con el saber experto de cada vez más maneras. Inicialmente el papel del público era prácticamente ajeno a la ciencia, para con el paso del tiempo, ser receptor y destinatario del conocimiento y de sus desarrollos. A partir de la mitad del siglo XX empieza a ser tenido en cuenta como opinión pública pasiva, y desde aproximadamente hace unas tres décadas, empieza a asumir y otorgársele, además, el papel de actor crítico, reivindicativo y participativo. Con esto no queremos decir que toda la sociedad esté implicada en tales procesos, pero sí una parte de ella, generalmente a través de organizaciones y asociaciones de la sociedad civil.

El historiador de la ciencia Pierre Fayard (1988) ha recurrido a la metáfora kantiana del “giro copernicano” para ilustrar el cambio contemporáneo acontecido en la relación ciencia-sociedad. Este giro ha llevado a que el público pase de ocupar una posición marginal a ocupar una posición central en dicha relación.

En relación con este hecho, más recientemente, Guston y Keniston (1994) han recurrido a otro concepto filosófico, el del “contrato social”, para conceptualizar y visibilizar esa transformación. Tal y como lo plantean ambos autores, entre la comunidad científica y la sociedad habría existido un contrato social implícito que se habría mantenido vigente hasta después de la segunda Guerra Mundial.

Ese contrato se habría roto en las últimas décadas, desembocando en una situación de indefinición e incerteza en las relaciones y papeles de los actores sociales implicados; unas relaciones que no estarían sino reconfigurándose (Pardo, 2001).

En ese contexto de cambio, donde han mudado los roles y papeles tradicionales de los actores intervinientes en la relación, es comprensible que tanto científicos sociales como científicos naturales y tecnólogos dirijan su atención a la opinión pública y se interesen por investigar sus niveles de conocimiento y sus percepciones, así como por promover acciones que consoliden la cultura científica.

$$1 * 10^{-9}$$

La nanociencia y la nanotecnología constituyen un caso especial en el ámbito de la comprensión pública de la ciencia. A nivel internacional, la preocupación tanto por los niveles de conocimiento científico de la

ciudadanía como por sus actitudes han llevado a estudiar de manera temprana las percepciones y reacciones sociales, antes incluso de que existiera una opinión pública formada sobre las mismas. Hasta ahora la atención ha ido más dirigida a sondear a la opinión pública; dándose un significativo déficit de estudios y actividades que se ocupen de la comunicación y la divulgación.

Son diversos los autores que achacan el prematuro interés por los niveles de conocimientos y actitudes de la opinión pública ante la nanociencia y la nanotecnología a lo ocurrido anteriormente con la biotecnología, especialmente con los alimentos manipulados genéticamente y los transgénicos (RS/RSE, 2004; Einsiedel & Goldenberg, 2004; Mehta, 2004; Priest, 2012).

En lo que respecta a España, la carencia es aún más grave, ya que ni siquiera se han realizado estudios específicos de comprensión pública sobre nanociencia y nanotecnología. De lo poco que se sabe, el nivel de desconocimiento que tienen los españoles es bastante grande. Esta situación puede ser hasta cierto punto lógica, dada la novedad de este campo. Sin embargo, por un lado, contrasta fuertemente con la novena posición que ha llegado a ocupar España en la producción científica en nanociencia y nanotecnología a nivel internacional (OEI, 2009), y, por otro, con el mayor nivel de conocimiento que tienen las poblaciones de otros países europeos.

Teniendo presente estos desajustes y esas carencias, este informe se centra en las cuestiones de comprensión pública de la nanociencia y la nanotecnología. Primero, realizando un análisis y un diagnóstico de su problemática, basado en los estudios de percepción y comprensión de la ciencia existentes, para, posteriormente, exponer los resultados de un estudio de prospectiva, basado en el método Delphi, cuya finalidad ha sido la de generar y estructurar una serie de contenidos que puedan ser utilizados en las actividades de divulgación y comunicación de la nanociencia y la nanotecnología, gracias a la mediación de los propios expertos en esos campos.

Es común que de los campos científicos y tecnológicos emergentes, en este caso de la nanociencia y la nanotecnología, se albergue la esperanza de que den lugar a grandes innovaciones y avances científicos y, especialmente, técnicas, que a su vez traiga también importantes transformaciones sociales. De ahí el interés que

despierta no sólo entre los actores sociales más directamente vinculados a ella, sino también por parte de científicos sociales y de la ciudadanía en general. Todo ello puede hacer pensar que se está en un momento de especial relevancia.

“La nanotecnología está entrando en una fase donde la implicación del público va a ser crucial en lo que respecta a la aceptación social, potencial de mercado y gobernanza política” (Hayhurst *et al.* (2005:227).

La nanociencia y la nanotecnología están en una fase inicial de desarrollo, lo cual supone una cierta incertidumbre debido a una serie de factores que no son totalmente independientes entre ellos como son la pauta que tenga la generación del conocimiento, los efectos de las aplicaciones y productos que se deriven de ese conocimiento, los riesgos que puedan surgir, la necesidad o no de regulación y las inversiones que se realicen. En todo caso, entre esos factores de incertidumbre están las actitudes y reacciones de la opinión pública, tanto actuales como futuras.

Hasta ahora, salvo algunas esporádicas acciones de protesta como las ocurridas en Francia, Suiza, o las más significativa de México, donde ha llegado a producirse una cadena de atentados contra centros e investigadores en nanociencia y nanotecnología (Phillips, 2012), la actitud más general se puede considerar como tibiamente favorable. En concreto, en el caso de la sociedad española se puede afirmar que se mueve en un triplete que va desde la contención a la ignorancia, pasando por la indiferencia (Gómez-Ferri, 2012).

Por razones variadas, en la sociedad del conocimiento es importante que los individuos comprendan aspectos básicos de la ciencia y la tecnología, así como de su funcionamiento y efectos. Entre tales razones no pasan desapercibidas a nadie las de índole económica, política, cívica y social. El logro de una ciudadanía formada y bien informada representa un beneficio para los propios individuos y un bien para la sociedad en su conjunto. Sin embargo, la comprensión de la ciencia y de la tecnología por parte de la sociedad es una asignatura pendiente a ese respecto. Este hecho tiene una serie de causas diversas, las cuales hay que conocer y apunta a un conjunto de actuaciones que se deben realizar.

En relación directa con la importancia que tienen la ciencia y la tecnología en las sociedades contemporáneas, y al igual que sucede en otras facetas de la esfera de la cultura, se hace necesario disponer de un conocimiento sobre los públicos para establecer planes de actuación adecuados a la creciente complejidad estructural de tales sociedades.

Estudiar y mejorar los niveles de cultura científica de las sociedades actuales constituye uno de los focos de atención de lo que se conoce como "comprensión pública de la ciencia", un campo interdisciplinar, surgido recientemente, en que se dan cita científicos de distintos ámbitos -sobre todo de las ciencias sociales, además de profesionales de la comunicación. Entre los objetivos que se persiguen está el conocer los niveles de cultura científica de la población y sus percepciones sobre la ciencia, así como buscar relaciones explicativas de ambos factores. Esto se complementa con una faceta más práctica, concerniente a los procesos de comunicación, y orientada a la formación científica de la ciudadanía, tanto a nivel formal como no formal.

## II. Metodología del estudio

La técnica o método Delphi ha sido la herramienta central de este estudio. Sin embargo, también se ha recurrido a otras fuentes de análisis y de datos como la revisión bibliográfica de la literatura existente y aquellos que proporcionan los Eurobarómetros de percepción pública de la ciencia, realizados por la Unión Europea. Que son la única fuente de disponible para tener datos al respecto sobre la sociedad española.

En situaciones donde reina la incertidumbre, y en donde la gente tiene información escasa, las técnicas de prospectiva social son un recurso factible para incidir sobre esa incertidumbre. El método Delphi es una de ellas. Este consiste en una consulta iterativa a un conjunto de expertos en un campo determinado, que se desarrolla en varias rondas. Aquí los expertos juegan un papel fundamental, ya que aportan sus conocimientos, juicios y estimaciones en situaciones de incertidumbre debidas a la falta de información -normalmente porque conciernen al futuro- pero también cuando ese conocimiento no está estructurado y disponible en un momento dado.

La situación de la nanotecnología en España es semejante a la que acaba de describirse. Es decir, la información sobre lo que compete a la estructura de las *nanocosas* y sus interrelaciones con los humanos, resto de seres vivos y medio ambiente requiere una estructuración que facilite los procesos de comunicación y, por tanto, su comprensión pública. Esa es pues la razón por la que se consideró el método Delphi como la técnica más idónea para abordar los objetivos propuestos.

Los estudios Delphi que se han llevado a cabo sobre nanotecnología y nanociencia se han centrado sobre cuestiones técnicas, más que sobre aspectos relacionados con la comprensión pública (Azkarate, 2008), a excepción del de Zimmer *et al.* (2010) que está orientado más a valorar los riesgos sobre algunas áreas de consumo.

Metodológicamente el estudio realizado no ha tenido una función explicativa, sino de índole exploratoria, con una vertiente aplicada, con la que se pretendía cubrir una serie de objetivos. El propósito ha sido utilizar dicha herramienta para consultar a los expertos con el fin de facilitar los procesos de comunicación de la nanociencia-nanotecnología entre la sociedad española de manera realista y asequible, que permita acercar la sociedad a la nanotecnología y la nanotecnología a la sociedad.

## **1. Objetivos de la investigación**

Con una vertiente de asesoramiento y otra de prospectiva, la investigación realizada pretendía identificar aquellos aspectos que desde el punto de vista de los expertos en nanotecnología facilitarían la comprensión por la opinión pública de la nanotecnología, así como los aspectos críticos de su comunicación y comprensión pública. De manera más específica, la investigación se ha orientado, en primer lugar, a identificar los contenidos mínimos básicos de conocimiento sobre nanotecnología, establecer distintos niveles de dificultad de los conceptos básicos sobre nanotecnología, detectar términos y conceptos que pueden ser fácilmente malinterpretados o malentendidos y, por último, realizar una aproximación a las estrategias y mecanismos de comunicación y difusión de la nanociencia y nanotecnología que los consideran más adecuados. Como señalan diversos autores, la malinterpretación e incluso la falta general de conocimiento pueden llevar a los potenciales beneficiarios a reacciones negativas a una tecnología emergente (Friedman & Egold, 2005; Mills & Fledderman, 2005). Una comunicación ineficaz puede ser algo gravoso tanto para la institución científica como también para la sociedad (Fischhoff y Scheufele, 2013).

En segundo lugar, se ha dirigido a concretar de manera realista los riesgos y beneficios posibles que pueden producirse, y a evaluar su posibilidad de ocurrencia. En relación con la comprensión pública de la ciencia, está constatado que una de las variables fundamentales que influyen sobre las actitudes públicas ante cualquier campo científico y tecnológico es la percepción de riesgos y beneficios, y la ponderación entre ambos. Para ello es importante que los ciudadanos y los debates públicos puedan tener el punto de vista de los expertos como referencia. Finalmente, en el estudio se contemplaban aspectos concernientes a la regulación de la nanociencia y la nanotecnología y

sobre participación social. En parte por razones de espacio y en parte porque no se ha considerado que los resultados respondan a la metodología planteada, estos dos aspectos no se incluyen en este informe, así como tampoco las consideraciones sobre mecanismos y estrategias de difusión de la nanociencia y la nanotecnología.

Los resultados del estudio van precedidos de un apartado en el que se sitúa y contextualiza la problemática de la comunicación y comprensión pública de la nanociencia y la nanotecnología, con especial referencia al contexto español.

## ***2. Técnica de investigación***

El método Delphi se suele englobar dentro de los estudios de futuro o de prospectiva. Y dentro de ellos, en las llamadas "técnicas subjetivas de previsión" (Landeta, 1999:15). También es empleada para determinar la diversidad de itinerarios que puede adoptar un fenómeno social y, de entre ellos, señalar los caminos que más probablemente desarrollará o adoptará dadas unas determinadas condiciones o escenarios. Es, por esto, una técnica de investigación adecuada para aproximarse a situaciones en las que deben tomarse decisiones, pero en las que la información existente se encuentra poco estructurada, y en las que predomina la incertidumbre o en las que los individuos generan definiciones de la situación con información nula, escasa o deformada. En tales situaciones, los expertos pueden desempeñar un papel fundamental, aportando sus conocimientos, juicios y valoraciones. Junto a la vertiente prospectiva, el método Delphi facilita la evaluación cualificada, lo que hace de dicho método una herramienta de extraordinaria utilidad en el campo de la investigación sobre la opinión pública y la comunicación aplicada.

## ***3. Elaboración de los cuestionarios***

Previamente a la elaboración del cuestionario inicial se realizaron nueve entrevistas semi-estructuradas a investigadores en nanotecnología, contactados al azar y en un par de casos a través del procedimiento de bola de nieve, supervisado por el grupo coordinador, a finales de 2011. A partir del análisis se confeccionó el cuestionario para la primera ronda, el cual fue supervisado por dicho

grupo y pasado a modo de prueba a diversos investigadores, respondiendo cinco de ellos. Finalmente el cuestionario quedó compuesto por quince preguntas, ocho de respuesta abierta y siete de respuesta cerrada, dando la opción de introducir comentarios tanto en cada una de ellas como al final. A partir de las respuestas y el análisis del primer cuestionario se elaboró el de la segunda ronda, compuesto de ocho preguntas.

La primera ronda se llevó a cabo entre los meses de marzo y mayo, mientras que el segundo entre junio y agosto del año 2012. El contacto con los investigadores, así como el envío de los cuestionarios se realizó mediante el correo electrónico por su mayor rapidez y menor coste y dado que en dichos estudios no se persigue la representatividad estadística.

Sobre la cantidad y cualidad de los miembros del panel, la literatura señala una composición muy variable. En número oscila entre 20 y 50 (Landeta 1999: 62). Se consideró idónea una cifra entre treinta y treinta y cinco participantes, estimando una tasa de respuesta entre el 20 y el 25%. Ello llevo a seleccionar una muestra inicial de 150 investigadores activos en el campo de la nanotecnología y la nanociencia de una población total estimada de casi cinco mil investigadores (4.990), que finalmente quedaron en 196.

De los 196 investigadores contactados, a los que se les enviaba una invitación a participar, explicándoles los pormenores del estudio, respondieron 60, a los cuales se les envió el cuestionario de la primera ronda. Este fue cumplimentado por 48 de ellos. A partir de las respuestas obtenidas se elaboró un segundo cuestionario que finalmente fue contestado por 38 expertos.

**Tabla 1.** *Participantes en el estudio Delphi*

<i>Participantes</i>	n	Tasa de respuesta
Población estimada de expertos	4990	---
Numero de expertos invitados a participar	196	---
Respuestas positivas a la invitación	60	30,6 %
Participantes en el cuestionario de la 1ª ronda	48	24,5%
Participantes en el cuestionario de la 2ª ronda	38	19,4%

La confección del universo de expertos en nanotecnología se llevó a cabo a partir de las bases de datos de tres redes de científicos. La

principal de ellas fue la de la Red Española de Nanotecnología<sup>1</sup>, que contiene el listado más amplio de grupos de investigación en nanociencia y nanotecnología de España. Esta fue completada con grupos de investigación de otras dos redes: la Plataforma española de Nanomedicina<sup>2</sup> y el Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN)<sup>3</sup>. El listado final que se confeccionó, por tanto, no fue nominal, sino numérico. En él se detallaba el número de componentes de cada uno de los grupos (centros o departamentos, en algunos casos). El número total resultante fue de 4.990 individuos; 4.564 de centros de investigación públicos o mixtos y 426 de empresas, los cuales representan un 8,5% del total. Estos porcentajes se tuvieron en cuenta en el diseño de la muestra inicial (invitación) que reprodujo esas proporciones. Se consideró que los investigadores por encima del nivel predoctoral podrían ser expertos de cara a valorar los conocimientos básicos y los riesgos que comunicar y transmitir al público. De ahí que de dicha población se optó por excluir tanto al personal técnico como a los investigadores predoctorales, al no tener garantías de que una gran parte de ellos pudieran ser considerados expertos en la materia, aunque algunos realmente lo sean para el tema en cuestión.

Aunque el Delphi no persigue la representatividad estadística, se buscó el máximo grado de homología con el universo. Para ello se adoptó una estrategia de estratificación un tanto flexible, pues interesaba una cierta diversidad tipológica que incrementara la riqueza de las respuestas. Para ello se tuvo en cuenta la titularidad del centro de investigación (público, mixto, privado); el sexo del investigador y la categoría académica o profesional.

Por ejemplo, a continuación, en la tabla 2, se muestra la procedencia de los participantes en la investigación distribuidos según Comunidades Autónomas. La muestra final se ha caracterizado por una amplia dispersión geográfica.

---

<sup>1</sup> <http://www.nanospain.org>

<sup>2</sup> <http://www.nanomedspain.net>

<sup>3</sup> <http://www.ciber-bbn.es/>

**Tabla 2.** Distribución de los participantes por Comunidades Autónomas

	Universo	Invitación	Aceptación	1ª Ronda	2ª Ronda
Andalucía	452	19	4	3	2
Aragón	453	20	5	3	2
Asturias	43	2	2	2	2
Baleares	12	3	1	1	1
Canarias	26	3	0	0	0
Cantabria	26	3	0	0	0
Castilla-La Mancha	100	6	3	3	3
Castilla-León	176	8	0	0	0
Cataluña	968	33	7	4	4
Extremadura	3	1	1	1	0
Galicia	202	5	3	3	1
Madrid	1.233	43	18	15	11
Murcia	41	4	0	0	0
Navarra	127	5	1	1	1
País Vasco	697	23	7	7	6
La Rioja	40	2	0	0	0
C Valenciana	391	16	8	5	5
Totales	4.990	196	60	48	38

Finalmente, en la tabla siguiente (*tabla 3*) se han recogido los datos de descripción de la muestra en relación al centro de investigación, sexo y categoría académica del investigador. Los perfiles obtenidos resultan acordes con la estratificación de estas variables en el universo de referencia.

**Tabla 3.** Distribución final de los participantes según diferentes variables

		n	%
Tipo de centro de investigación	Centros públicos	33	87,0
	Centros tecnológicos	3	3,0
	Empresas	2	5,0
Sexo del investigador	Hombres	26	68,0
	Mujeres	12	32,0
Categoría académica del investigador	Titular de Universidad	10	26,3
	Profesor de Investigación	5	13,1
	Catedrático de Universidad	6	15,8
	Investigador Postdoctoral	4	10,5
	Investigador Científico	2	5,3
	Responsables de Comunicación	2	5,3
	Catedrático de Escuela	1	2,6
	Otros	8	21,1

# III. Diagnóstico sobre la comprensión pública de la nanociencia y la nanotecnología en España y de su problemática

## 1. *La comprensión y percepción pública de la ciencia y la tecnología*

A modo de introducción, sobre comprensión pública de la ciencia y la tecnología es difícil ofrecer unas pautas válidas para todos los países, pero en general, podemos afirmar que el público conoce poco los aspectos de la ciencia en detalle y que el interés que tiene es medio-bajo, aunque sí le preocupan las cuestiones concernientes a los riesgos. Ello no obsta para que se tenga una actitud positiva en general hacia la ciencia y la tecnología y sus desarrollos. Es en los países de mayor desarrollo científico y tecnológico en los que suele haber posturas más polarizadas en torno a la variable conocimiento: más conocimiento implica más recelo como también más confianza, ya sea respecto de agregados como en los individuos. En lo que concierne a los niveles públicos de conocimiento científico tienden a ser bajos y, además, no se observan cambios significativos en el tiempo, sin entrar ahora en el detalle de la metodología empleada para medir este aspecto. Respecto de las experiencias e interés por la participación social en torno a cuestiones científicas, son los países más desarrollados los que más las tienen y ponen en práctica. Finalmente, es de destacar un cierto desencuentro entre profesionales de la comunicación, periodistas principalmente, y científicos en lo que respecta a la información sobre la ciencia y la tecnología.

En lo que respecta a la sociedad española, la pintura que ofrecen los estudios de comprensión pública podría ser la que se detalla a continuación. Los españoles tienen un interés medio-bajo por la ciencia. También lo son sus niveles de conocimiento científico. En relación con ello, éstos consideran que la formación científica recibida durante su paso por el sistema educativo es bastante deficiente. Sin embargo, la confianza o apreciación de la ciencia y la tecnología tiende a ser alta. Sobre esto se observa, en conjunto, un lento, pero progresivo descenso desde 1982 hasta 2006, volviendo a subir en las dos últimas encuestas generales de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), las de 2008 y 2010. Por ejemplo, el porcentaje de personas que considera que los beneficios de la ciencia y la tecnología es mayor que sus perjuicios en la encuesta del 2010 era del 58,4%. Pero solo el 8% de los ciudadanos consideraron que los perjuicios son mayores que los beneficios. Para encontrar un porcentaje superior de optimismo tendríamos que remontarnos a la encuesta inicial de 1982. Las preocupaciones sobre la tecnología se asocian a campos concretos de aplicación, no tanto a las tecnologías en conjunto. Y, en general, la profesión de científico es una de las mejor valoradas; la segunda por detrás de la de médico.

Finalmente, la mayor parte de la información científica la obtienen los españoles a través de la televisión, aunque los jóvenes lo hacen cada vez más a través de Internet, que recientemente ha desplazado a los llamados medios de comunicación de masas (FECYT, 2012). Y, en general, los españoles tienden a responsabilizar a los medios de comunicación de no darles más y mejor información.

## ***2. La comprensión y percepción pública de la nanociencia y la nanotecnología***

El interés por conocer las actitudes de la opinión pública ante la nanociencia y la nanotecnología<sup>4</sup> ha sido temprano. Temprano con respecto a la existencia de una opinión pública más o menos formada y también con respecto a lo sucedido en casos anteriores, como la biotecnología, o contemporáneos, como la biología sintética.

---

<sup>4</sup> En gran parte de los estudios se obvia el término “nanociencia” y se pregunta sólo por la “nanotecnología”.

Los primeros estudios sobre actitudes públicas hacia la nanotecnología se basan en datos recogidos a partir de cuestionarios, y son el realizado por W. S. Bainbridge en 2001, en Estados Unidos (Bainbridge, 2002) y, en Europa, por parte de la Comisión Europea (2001), a través de los Eurobarómetros, que son la única fuente que tenemos para conocer algo sobre lo que piensa la opinión pública española al respecto. En concreto el Eurobarómetro de 2001 (Comisión Europea, 2001) sólo incluye dos preguntas sobre nanotecnología: una sobre interés y otra sobre familiaridad.

Desde ese momento los estudios empíricos sondeando a la opinión pública respecto de la nanotecnología-nanociencia no han dejado de crecer. En ello se ha recurrido a diferentes técnicas de investigación, con diferentes objetivos, estudiándose diferentes grupos poblacionales, sectores, etcétera (Gómez Ferri, 2012). En la tabla siguiente se puede observar el número de preguntas que se han realizado en las diferentes consultas realizadas:

**Tabla 4.** Eurobarómetros que incluyen cuestiones sobre nanotecnología

<b>Año</b>	<b>Identificación y Temática de la encuesta</b>	<b>Nº de preguntas sobre nanotecnología</b>
2001	55.2- Los europeos y la ciencia y la tecnología	2
2002	58.0 - Los europeos y la Biotecnología	1
2005	63.1 - Los europeos y la ciencia y la tecnología	1
	63.1 - Valores sociales, ciencia y tecnología	1
2005	64.3 - Los europeos y la Biotecnología en 2005	8
2010	73.1 - Biotecnología	14

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las encuestas de la Comisión Europea*

A continuación se exponen los principales resultados de estos sondeos, para más adelante reseñar aquellas investigaciones que se han ocupado de analizar la información aparecida en prensa, un referente clave a partir del cual la ciudadanía forma su opinión sobre muchos temas científicos o tecnológicos.

Si comenzamos fijándonos en las dos preguntas de la encuesta de 2001, una sobre el grado de interés (*tablas 5 y 6*) y otra sobre la familiaridad (*tabla 7*), se ve que, sobre lo primero, entre los ámbitos preguntados, la nanotecnología ocupa el último lugar, tanto en España como en los quince países en los que se pasó la encuesta. En concreto, en España el porcentaje es del 2,7%, siendo la media del conjunto de 3,9%. De todos modos, el resultado no es significativo si tenemos en cuenta el resto de ámbitos y el año de la consulta, 2001. En cambio, sí que puede ser tenido en cuenta el hecho de que España sea el país de los quince miembros en que la nanotecnología despierte menos interés. En la tabla 6 puede verse el resultado del resto de países.

**Tabla 5.** *Interés por algunos desarrollos científicos y técnicos (Eurobarómetro 55.2, 2001)*

<b>¿Qué desarrollos científicos y técnicos encuentra usted más interesantes? (%)</b>		
	<b>España</b>	<b>EU 15</b>
Medicina	60.7	60.3
Medioambiente	56.3	51.6
Internet	27.1	27.9
Genética	18.7	22.2
Economía y Ciencias sociales	17.7	21.7
Astronomía y Espacio	13.2	17.3
Nanotecnologías	2.7	3.9
Ninguna	12	8.8
No sabe	2.3	2.3

*Fuente: Comisión Europea (2001)*

**Tabla 6.** Interés por la nanotecnología por países-2001 (Eurobarómetro. 55.2)

<b>País (EU-15)</b>	<b>%</b>
Holanda	6,6
Luxemburgo	6,2
Austria	5,8
Dinamarca	5,3
Francia	5,1
Bélgica	4,5
Italia	4,4
Suecia	4,3
<b>EU</b>	<b>3,9</b>
Finlandia	3,8
Grecia	3,7
Reino Unido	3,2
Alemania	3,1
Portugal	2,9
<b>España</b>	<b>2,7</b>
Irlanda	1,1

Fuente: Elaboración propia a partir de Comisión Europea ( 2001)

Respecto del grado de familiaridad, medido a través de la pregunta "¿tiene usted la impresión de saber que es [la nanotecnología]?", en el primer sondeo realizado se detecta un grado muy bajo de familiaridad tanto en España como el conjunto de la Europa -de los quince en ese año-, lo cual es bastante comprensible para el año 2001.

**Tabla 7.** Nivel de familiaridad con diversos aspectos científicos y técnicos por temas-2001

<b>Cuestión</b>	<b>UE-15</b>	<b>España</b>
Contaminación del aire	89,2	66,1
Calentamiento global	77,3	46,6
Efecto invernadero	77,5	52,3
Pilas de combustible eléctricas	35,9	26,4
Agujero de la capa de ozono	77,3	57,7
Nanotecnología	16,6	7,9
Fármacos realizados mediante ingeniería genética	47,9	23,6
Alimentos modificados genéticamente	64,6	37
Internet	65,5	41,9
Encelopatía espongiforme bovina	81,9	68

Fuente: Elaboración propia a partir de Eurobarómetro 55.2 (2001)

Yendo a 2010, el año más reciente del que hay datos disponibles, se ve que el grado de familiaridad con la nanotecnología no parece haber cambiado sustancialmente, aunque realmente no se pueden establecer comparaciones estrictas con 2001. Esto es debido a que la formulación de las preguntas ha sido diferente. En 2010 no es “*tener la impresión de saber qué es la nanotecnología*”, sino simplemente el hecho de “*haber oído hablar de ella*” (33%), que en este caso queda por delante de la “*biología sintética*” (18%). Véase los datos de la sociedad española y del conjunto de la Unión Europea (EU-27) en la tabla siguiente:

**Tabla 8.** Nivel de familiaridad con diversos aspectos científicos y técnicos por temas-2010

<i>¿Ha oído usted alguna vez hablar de...?</i>	EU-27	España
Alimentos genéticamente modificados	84	74
Clonación de animales para la producción de alimentos	75	74
Biobancos	34	55
Nanotecnología	46	33
Biología Sintética	17	18

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Comisión Europea 2010*

Fijándose en el conjunto de los veintisiete países miembros, más Suiza, Noruega, Islandia, Croacia y Turquía (*tabla 9*), países que fueron incluidos en el sondeo del Eurobarómetro de 2010, se ve que España ocupa una de las últimas posiciones sobre el grado de familiaridad mínimo que implica haber oído hablar de ella, teniendo sólo cinco países por detrás. De los países miembros, España estaría en la posición 22, de 27, ocupando Malta (16%) la última posición, por detrás de Portugal (21%) (Comisión Europea, 2010). Curiosamente son dos países no-miembros, Suiza (78%) y Noruega (77%), los que encabezan la tabla, superando en dos y un punto, respectivamente, a Dinamarca (76%), el país de la EU que ocupa la primera posición, en lo que respecta a familiaridad con la nanotecnología.

**Tabla 9.** Nivel de familiaridad con la nanotecnología por países – 2010

País	% afirmativo
Suiza	78
Noruega	77
Dinamarca	76
Suecia	76
Finlandia	68
Alemania	64
Holanda	62
Luxemburgo	61
Islandia	60
República Checa	59
Francia	54
Letonia	51
Austria	46
Hungría	46
Croacia	45
Estonia	44
Eslovenia	44
Grecia	44
Reino Unido	44
Bélgica	42
Italia	37
Lituania	36
Chipre	35
Irlanda	34
Eslovaquia	34
<b>España</b>	<b>33</b>
Bulgaria	31
Polonia	30
Turquía	27
Rumanía	25
Portugal	21
Malta	16

Fuente: Elaboración propia a partir de Comisión Europea (2010).

A tenor de esos resultados, se puede afirmar que en 2010 casi el 70% de los españoles desconocían absolutamente qué era la nanotecnología. Eso no implica que el porcentaje restante, el 33%, sepa lo que es. Simplemente le suena o ha oído mencionar la palabra. A pesar de los cinco años transcurridos respecto de la anterior consulta, en 2005, no hay un avance significativo respecto ya que entonces los que habían oído hablar de ella eran el 32%.

Hay que tener presente, en todo caso, que no hay datos sobre cifras reales de familiaridad (recuérdese que se preguntó a los encuestados si se ha oído hablar de la nanotecnología o no), y que serían menores de esos porcentajes, pues no sabemos si a aquellas personas que han oído hablar de ella saben o no lo que es. No obstante, a partir de los datos que proporcionan otras cuestiones de ese sondeo, como el hecho de "haber buscado información sobre nanotecnología" y "haber hablado con otras personas sobre el tema", sí que se podría establecer unos niveles orientativos del porcentaje de desconocimiento.

De este modo, y teniendo en cuenta lo señalado, para el conjunto de la Unión Europea se estaría hablando de un 75% de desconocimiento. Es decir, que tres de cada cuatro ciudadanos europeos no saben realmente lo que es la nanotecnología. Para España, estimamos que la cifra es algo superior a la de la Unión Europea, estando entre ese 75% y por debajo del 86%, que es el porcentaje de aquellos que respondían en 2001 que no tenían la impresión de saber lo que era la nanotecnología. (En el sondeo realizado en 2001 sólo el 14% de los españoles creía saber de que se le estaba hablando cuando se le mencionaba la palabra "nanotecnología".)

En relación con la baja familiaridad, los españoles no manifiestan un interés en buscar información sobre la nanotecnología. De ese porcentaje de españoles que habían oído hablar de nanotecnología (33%), sólo un 3% ha buscado información o hablado con alguien frecuentemente sobre el tema. Los más interesados e informados se informan a través de revistas y declaran estar dispuestos a saber más. Para los que están menos informados, la televisión es la principal fuente de información. Esta es una tónica general de todos los países de la Unión Europea (Comisión Europea, 2010).

Aquí estimamos, a partir del porcentaje de españoles que han respondido que han buscado información, más el de los que han hablado con otras personas tanto de manera habitual como ocasional sobre nanotecnología, que la cifra de españoles que tienen una noción clara de lo que es ésta puede estar en torno al 5%. Como ya hemos visto, esta ignorancia no es óbice para que predominen actitudes positivas al respecto.

Finalmente, en lo que a actitudes respecta, fijándose en los resultados de encuesta de EEUU, Europa y España de los años 2002, 2005 y 2010, encontramos en general que la actitud hacia la

nanotecnología es positiva. Esta es más alta en Estados Unidos que en la Unión Europea (*tabla 10*). En el caso de España, ésta es más alta que la media de la Unión Europea, donde se observa que entre 2002 y 2005 crece el índice de optimismo, pero baja en 2010, debido a que aumenta el número de escépticos respecto al porvenir futuro de la nanotecnología. Es fácil pensar que este aumento proviene del núcleo de personas que anteriormente respondieron "no sabe".

En el la tabla 10 se observa que en el año 2002 el nivel de confianza era superior en Estados Unidos que en Europa. En las encuestas posteriores esto se mantiene, a pesar de aumentar significativamente del 2002 al 2005 en el conjunto de la Unión Europea. En España entre 2002 y 2010 no hay una variación significativa en el nivel de confianza hacia la nanotecnología. Sí que aumenta la desconfianza; y el porcentaje desconocimiento baja de manera mínima.

**Tabla 10.** Expectativas ante el desarrollo de la nanotecnología en EEUU, Europa y España

<b>2002</b>	<b>US</b>	<b>UE</b>	<b>ESP</b>	<b>2005</b>	<b>UE</b>	<b>ESP</b>	<b>2010</b>	<b>UE</b>	<b>ESP</b>
Mejorará la situación (optim.)	50	29	39	Mejorará (opt.)	40	-	Mejorará (optim.)	41	42
Empeorará (pesim.)	4	6	3	Empeorará (pesim.)	5	-	Empeorará (pesim.)	10	8
No efecto	12	12	7	No efecto	13	-	No efecto	9	3
No sabe	35	53	52	No sabe	42	-	No sabe	40	47

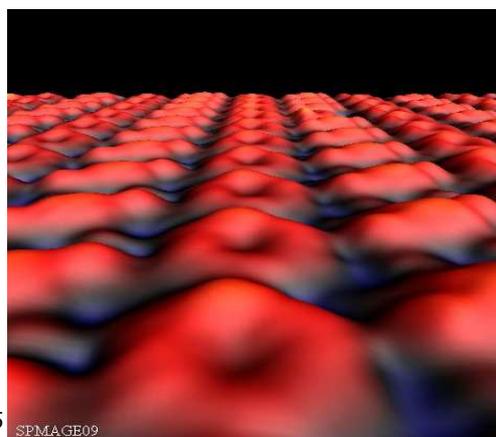
Fuente: Elaboración propia a partir de las encuestas de la Comisión Europea y Gaskell et. al. (2004).

Para terminar este repaso, hay que insistir de nuevo en que con niveles tan altos de desconocimiento los datos que se pueden obtener pueden estar bastante sesgados. Aún así, conviene señalar a este respecto que los ciudadanos europeos se muestran favorables al fomento de la nanotecnología. La respuesta que dan los españoles sobre el apoyo y fomento de la nano no se va mucho de la media Europea. Un 37% por ciento de los españoles se muestra favorable a ello, frente a un 22% que se muestra en desacuerdo (Comisión Europea, 2010).

En síntesis, para la sociedad española, encontramos una opinión pública escasamente informada sobre nanociencia y nanotecnología, que tiene actitudes positivas y favorables ante éstas.

La existencia de un gran desconocimiento y el predominio de actitudes positivas y favorables cuestionan parcialmente el modelo de clásico de “déficit”. Desde este modelo se sostiene que cuando la gente tiene mayores conocimientos científicos su actitud ante la ciencia y la tecnología es más favorable: y que el rechazo y la desconfianza ante éstas son producto de la ignorancia. Con los datos actualmente disponibles, en el caso de la nanotecnología se cumpliría lo primero, pero no lo segundo, ya que también quienes desconocen qué es la nanotecnología tienen actitudes positivas hacia ella. En todo caso, actualmente no se detecta alarmismo ante las potenciales consecuencias negativas de la nanotecnología.

Con la breve perspectiva de los años transcurridos desde los primeros estudios, en general se mantiene estable el desconocimiento o falta de familiaridad absoluta con la nanotecnología (Cacciatore *et al.*, 2011). Dada la situación inicial en que se encuentra la nanociencia y la nanotecnología y dado el desconocimiento existente, es muy previsible que las percepciones, actitudes imágenes y representaciones sociales cambien significativamente (Selin, 2007). Es lógico prever que la confianza descienda a medida que aumente el conocimiento de la gente sobre la nanotecnología, dado que en parte se puede interpretar como el “beneficio de la duda” que mucha gente concede de aquello que no ha oído hablar o no sabe lo que es (Einsiedel, 2005). No obstante, esos cambios estarán condicionados por las políticas de comunicación y las actividades de divulgación y enseñanza que se lleven a cabo.



<sup>5</sup> "A charge transfer complex on the surface of a metal". Isabel Fernandez Torrente, (Freie Universitat, Berlin). <http://www.icmm.csic.es/spmage/spmageview09.php?id=82>

Brossard *et al.* (2009) suponen que la existencia de un bajo nivel de polémica y debate social existente hasta ahora en torno a a nanotecnología se debe en gran parte a que los sectores de aplicación no han sido especialmente controvertidos, como lo sería si fuese el agroalimentario; especialmente en los países del sur de Europa.

De hecho, recientes estudios (Siegrist *et al.* 2007a, 2007b; Vandermoere *et al.*, 2011) muestran que, frente al optimismo cauto que caracteriza la actitud ante la nanotecnología, cuando hablamos de cuestiones de alimentación, en determinadas sociedades como la suiza o la francesa, a las que corresponden sendos estudios, las actitudes son ambiguas, cuando no pesimistas.

Es una situación que no se da, por ejemplo, en Nueva Zelanda, como testimonian Cook & Fairweather (2007). Como advierte Priest (2012: 69), las fronteras entre lo animado y lo inanimado, lo orgánico y lo inorgánico parece que son un factor simbólico importante de cara a la formación de actitudes más polarizadas ante los avances científicos y tecnológicos.

Como se ha indicado al inicio de este apartado, además de la información obtenida mediante encuesta, también son de destacar los análisis de contenido realizados a partir de la información sobre nanotecnología y nanociencia aparecida en los medios de comunicación; generalmente la prensa. Aunque no nos ofrecen información sobre la percepción pública, dada la situación en la que el conocimiento de la nanotecnología es escaso, la información aparecida en los medios de comunicación probablemente será el marco que conforme gran parte de las percepciones de los diferentes públicos (Scheufele & Lewenstein, 2005).

Los resultados de dichos análisis muestran, no obstante, que la cobertura recibida por la nanociencia y la nanotecnología en prensa es escasa, que los temas más tratados son los de salud y medioambiente y, en todo caso, que en las informaciones predomina los tonos positivos y optimistas (Gorss & Lewenstein, 2005; Anderson *et al.* ,2005; Wilkinson *et al.* 2007); Groboljsek & Mali, 2012). O cuando se habla de riesgos estos no empañan los aspectos positivos (Friedman & Egolf, 2005).

Sobre la imagen de la nanotecnología en la prensa española, Giuseppe Veltri (2013) ha realizado un análisis semántico de la representación de la nanotecnología en la prensa española entre 1997 y 2009, tomando más de 600 noticias de los principales diarios nacionales. Veltri confirma el tono optimista que se encuentra en casi todos los análisis de prensa realizados en otros países; un tono que, además, se ha ido acentuando con el tiempo, ya que en los últimos años han desaparecido los aspectos que pudieran ser más controvertidos. Que sí estuvieron presentes en los inicios. Invernizzi (2008), Novo y Borges (2010) y Körbes e Invernizzi (2010) constataron esta tendencia en la divulgación y en la publicidad tanto en general como en concreto sobre algunos productos de consumo en Brasil.

### ***3. La comunicación pública de la nanociencia y la nanotecnología y sus dificultades***

La comunicación de la ciencia y la tecnología al público plantea una serie de retos, cuestiones y dificultades más o menos compartidas como son, por ejemplo, la complejidad, la especialización y la abstracción del conocimiento científico y tecnológico. En lo que respecta a los aspectos comunicativos están la diversidad de contextos y de audiencias, así como sus características, o la elección de los medios de comunicación más adecuados. Luego, cada disciplina, área o campo tiene sus problemáticas más específicas. No obstante, la comunicación que tiene que ver con campos emergentes puede plantear dificultades que son comunes o cercanas. Dos de ellas son: la relativa novedad y la incertidumbre respecto del futuro.

Como todo campo científico, la nanociencia y la nanotecnología presentan una serie de dificultades de comprensión al ciudadano. A continuación se sintetizan las que se consideran principales y específicas de estos campos. Después, y no totalmente desligado de lo anterior, se completa el análisis con aquellas dificultades que son de carácter contextual, sobre todo en relación con la sociedad española.

### 3.1. Las dificultades de comprensión de la nanociencia y la nanotecnología

- En primer lugar se presenta la cuestión de la escala a la que opera la nanotecnología, la mil millonésima parte del metro, una escala muy alejada del mundo en el que operan cotidianamente los sentidos humanos. El trabajo, la investigación y los objetos nanoscópicos son poco intuitivos y difíciles de imaginar. El público en general, incluidos los escolares, tiene dificultades para diferenciar y situarse a esas escalas y organizar e identificar entidades (NYSED, 2004; Waldron *et al.*, 2005; Castellini *et al.*, 2007; Sánchez-Mora & Tagüeña 2011). No obstante, el público sí que emplea habitualmente algunos de los productos elaborados gracias a ella, así como tiene también la posibilidad de percibir sus propiedades. La miniaturización de los componentes electrónicos, traducida en diferentes aparatos de uso común desde móviles a ordenadores sería un ejemplo.
- En relación con lo anterior, está el hecho de que para entender gran parte de lo que ocurre en la nanoescala se han de entender procesos que ocurren a nivel cuántico, lo cual no es una cuestión asequible a la mayoría de públicos.
- En tercer lugar, nos encontramos con la cuestión coyuntural y lógica de la novedad. Al ser la nanotecnología un campo emergente y puntero que está aportando nuevos conocimientos, técnicas y productos, resulta lógica la existencia de ese desconocimiento general.
- En cuarto lugar, hay que añadir la incertidumbre sobre el desarrollo futuro de la nanotecnología y del comportamiento de las nanopartículas y nanoestructuras. Estamos hablando de la probabilidad de riesgos y de beneficios, en los cuales hay de por medio aspectos sociales, medioambientales y éticos. En todo ello resulta muy difícil elaborar predicciones más o menos aproximadas.
- En quinto lugar, está la amplitud o extensión del campo abordado. No se trata de una ciencia o una tecnología en singular (Roco & Bainbridge, 2003), sino más bien un espacio multidisciplinar donde convergen varias ramas del saber científico y tecnológico, lo cual implica procesos, conceptos, jergas, objetos, materiales, estructuras y productos de diferentes ramas de la ciencia y la ingeniería.
- Finalmente, relacionado con lo anterior, tampoco facilita las cosas la controversia existente entre los investigadores sobre la

verdadera entidad o sustantividad del campo de la nanotecnología. Hay investigadores que consideran la nanotecnología o la nanociencia como un campo nuevo, con suficiente entidad y unidad, mientras que otros, en cambio, ponen en cuestión su existencia. Para estos "nanociencia" y "nanotecnología" no serían más que etiquetas publicitarias destinadas a atraer atención pública, mediática y financiera. Lo que existiría realmente son las disciplinas de siempre (física, química, biología, ingeniería, etcétera), sólo que centradas en la nanoescala. Con menor alcance, esta polémica identitaria también se plantea a la hora de distinguir o no la nanociencia de la nanotecnología.

### **3.2. Déficit y desajustes en la comprensión y comunicación de la nanotecnología en España**

Continuando con la problemática de la comprensión y comunicación pública de la nanotecnología hemos detectado una serie de carencias y desajustes, que exponemos a continuación, algunas de los cuales ya han sido aludidas anteriormente, y que recogemos de manera sintética.

#### **3.2.1. La ausencia de estudios sobre comprensión y comunicación pública de la nanotecnología**

En el ámbito internacional, las primeras encuestas sobre percepción pública contienen datos de 2001 (Comisión Europea, 2001; Bainbridge, 2002). A partir de ese año los estudios para continuar o ampliar datos sobre los conocimientos, intereses y actitudes públicas ante la nanotecnología y sus posibles riesgos son muy numerosos. En el caso de España, sin embargo, destaca la ausencia de trabajos de investigación específicos sobre comprensión y comunicación pública de la nanotecnología. Para saber acerca de la percepción pública de la nanotecnología únicamente contamos con los datos de los aludidos eurobarómetros de la Comisión Europea de los años 2001, 2002, 2005 y 2010, con los problemas de escasez de cuestiones y de no inclusión y formulación de las mismas preguntas en los sucesivos sondeos.

Aparte de la información que nos proporcionan los eurobarómetros, sólo muy recientemente se han publicado un par de trabajos sobre el tema. Sobre el estado de la divulgación en España, está el artículo panorámico de Serena y Tutor (2011). Y, sobre la imagen de la nanotecnología en la prensa española, el ya comentado de Veltri

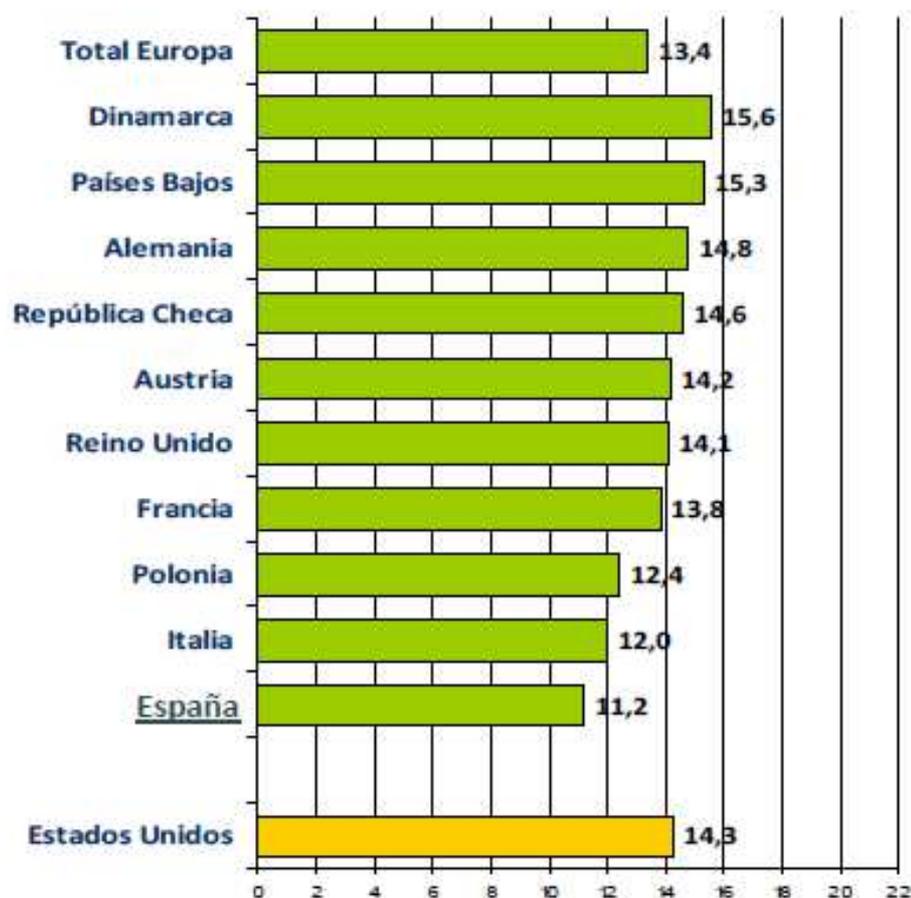
(2013), quien hace un análisis de contenido de la representación de la nanotecnología entre 1997 y 2007.

### **3.2.2. El desconocimiento de los españoles sobre la nanotecnología**

Como ya hemos visto, el dato más destacado proporcionado por los estudios de percepción pública realizados a nivel internacional, y en el que todos ellos coinciden, es el gran desconocimiento y falta de familiaridad que la gente tiene sobre nanotecnología (Comisión Europea, 2001; Bainbridge 2002; Cobb & Macoubrie, 2004; Waldron *et al.*, 2006; Currall *et al.*, 2009; Satterfield, *et al.*, 2009; Simons *et al.*, 2009). Esto puede ser lógico al principio. Sin embargo, y contra lo esperado, en la mayoría de países se observa un estancamiento en el nivel de familiaridad, con las excepciones de Alemania y Australia (Simons *et al.*, 2009).

Con los datos que tenemos, en el caso de España (Comisión Europea, 2001, 2010a), la familiaridad con la nanotecnología es de las más bajas de Europa, existiendo un gran segmento de la población española en que el desconocimiento es absoluto. En 2010 era del 70% y, de los países miembros, la sociedad española ocupaba la posición veintidós de veintisiete en familiaridad con la nanotecnología. Estos datos coinciden con estudios más amplios, en los que se pone de manifiesto el bajo nivel de cultura científica de la sociedad española, como el recientemente llevado a cabo por la Fundación BBVA (Bauer y Howard, 2013), en el que se comparan diez países europeos, más los Estados Unidos (*véase en el gráfico que hay a continuación*). Finalmente, los resultados también señalaban que el grado de interés que suscitaba la nanotecnología entre los españoles era escaso, tanto en comparación con otros países como con respecto a otros ámbitos científicos y tecnológicos (Comisión Europea, 2001: 37), lo cual nos sitúa a la problemática siguiente: el interés que los españoles tienen por las cuestiones de ciencia y tecnología.

Media de conocimiento científico objetivo (0-22). Base: total de casos



Fuente: Fundación BBVA, 2012

### 3.2.3. La falta de interés de los españoles por la ciencia

A pesar de que, como hemos señalado anteriormente, los españoles valoran positivamente la ciencia y a los científicos, y a pesar de que el interés declarado de los españoles por la ciencia aumenta progresivamente (FECYT, 2012), también es verdad que, ese interés es bajo comparado con países de nuestro entorno y con el interés en otras cuestiones de actualidad (Torres-Albero *et al.*, 2011). Este desinterés puede ser aún mayor si tenemos presente la posibilidad de un cierto sesgo de deseabilidad social en las respuestas a dicha pregunta, ya que ese interés declarado no se traduce en comportamientos consistentes con ese interés, lo cual se puede intuir si lo comparamos con el interés ante otros temas de actualidad como son los medioambientales, los deportes, la política o la vida de los famosos (Comisión Europea, 2010). Véase en la tabla 11.

**Tabla 11.** Grado declarado de interés de los españoles por temas de actualidad-2010

Tema	Muy interesado	Moderadamente interesado	Nada interesado	No Sabe
La actualidad deportiva	25	35	40	0
La actualidad política	18	50	31	1
Los descubrimientos médicos	31	54	15	0
Los descubrimientos científicos	30	49	20	1
Los problemas medioambientales	37	51	11	1
El Arte y la Cultura	20	49	30	1

Fuente: Elaboración propia a partir de Comisión Europea (2010)

### **3.2.4. La escasez de actividades de comunicación y de divulgación**

En España las iniciativas y actividades de divulgación de la nanotecnología han sido escasas como asimismo lo es la presencia de tales contenidos en los diferentes niveles educativos (Serena & Tutor, 2011). Y lo mismo cabe decir de los textos de divulgación. Esto contrasta con la situación de otros países como Estados Unidos, Japón, Taiwán, Alemania o Francia, entre otros, donde se han elaborado planes específicos, que se han traducido en diferentes campañas de educación y divulgación, muchas de ellas dirigidas al público más joven, como *nanoyou*, *nanodialogue*, *nanologue*, *nanocap*, *macospol*, *nanoplat*, *framingnano*, *nanotruck*, *nanocamp*, *nanoreisen*, *nanoboy* (Comisión Europea, 2010b; Bonazzi, 2010). Aunque algunos de ellos son programas de la Unión Europea han tenido un alcance muy limitado y puntual en España. Por último, contabilizando las actividades financiadas por la FECYT que específicamente conciernen a nanotecnología oscilan entre dos y cuatro por convocatoria.

### **3.2.5. Desajustes en la percepción del público por parte de la comunidad científica**

Junto al sesgo o tendencia a considerar al público como una entidad homogénea y uniforme, en vez de como una entidad diversa, es palpable la representación del público por parte de las comunidades de científicos de muchos países como un problema o un riesgo para la ciencia debido a su ignorancia científica. Besley y Nisbet (2013) señalan la desconfianza que los científicos manifiestan respecto del público al cual atribuyen actitudes de recelo o rechazo ante el desarrollo científico y tecnológico. Sin embargo, la valoración que los ciudadanos hacen de los científicos y de la ciencia, y que podemos encontrar en las diferentes encuestas de la FECYT, reflejan una actitud muy diferente. La ciencia es una de las instituciones mejor valoradas por los españoles. Por eso, y en relación con lo señalado anteriormente, es importante tener presente la diversidad de públicos, así como el hecho de no atribuirle una actitud anti-científica de manera generalizada. Aunque no existen datos sobre esto, posiblemente esta imagen tiene más que ver con la manera en que los científicos perciben a la gente que con lo que ocurre en la realidad.

### **3.2.6. Persistencia de la mentalidad del "modelo de déficit"**

En relación con lo tratado en el punto anterior, lo que se conoce como "modelo de déficit" sostiene que las actitudes del público ante la ciencia y la tecnología son una consecuencia de sus respectivos niveles de conocimiento científico y tecnológico (Miller, 1983). Así, las actitudes de rechazo o recelo ante determinados desarrollos científico-técnicos derivarían de la ignorancia pública en materia científica. El cuestionamiento del modelo de déficit ha venido por diferentes vías, desde los que cuestionan la divisoria entre legos y expertos (Wynne, 1992), a los que cuestionan la metodología empleada para medir los niveles de conocimiento (Lee & Scheufele, 2006), pasando por las críticas que se centran en la ausencia de resultados estadísticos confirmatorios (Sturgis & Allum, 2004), sobre todo en casos de cuestiones científicas controvertidas, donde la relación es prácticamente nula, o los que se han ocupado de analizar los mecanismos mediante los cuales el público da significado a la información disponible y forma su opinión y toma postura. En este sentido el público no espera a tener toda la información para formarse una opinión, sino que lo hace a través de atajos mentales

como son el uso de heurísticos (Scheufele & Lewenstein, 2005; Druckman & Bolsen, 2011) o una serie de valores como son sus posiciones ideológicas (Kahan *et al.*, 2009), el respeto a la autoridad científica y, por tanto, quienes son los transmisores de la información (Brossard & Nisbet, 2006) o las creencias religiosas (Brossard *et al.*, 2009).

Dada la ausencia de investigaciones al respecto, desconocemos la relación que existe entre ambas variables (conocimientos y actitudes) en el caso de la sociedad española. Sin embargo, la mayor parte de actitudes de los comunicadores, divulgadores y educadores asumen la relación que plantea el modelo de déficit. Rechazar este modelo no implica defender que mejor es la ignorancia, sino más bien el modelo de relación lineal entre conocimiento y actitudes ante la ciencia. Así, pues, a la hora de emprender actividades de fomento de la cultura científica y de divulgación científica no se debería de partir de nociones comunes, muy arraigadas socialmente, sobre cómo piensa la gente, dando por sentado que la gente forma su opinión a partir del conocimiento de hechos, sino que se deben tener presentes los procesos a través de los cuales la gente maneja la información científica y forma sus opiniones en materia científica y tecnológica. La falta de comunicación e interacción que existe entre científicos naturales e ingenieros, por un lado, y científicos sociales, por otro, no ayuda a una comunicación pública de la ciencia efectiva. En este sentido debe tenerse presente que fundamentalmente ocurre a través de un proceso en el que interactúan tanto hechos (los que se proporcionan y los que ya posee la gente) como valores. Por eso no se puede centrar sólo en la transmisión de conocimiento, aunque tampoco descuidar esta dimensión.

### **3.2.7. Falta de formación en comunicación pública de la ciencia**

La comunicación científica es una tarea fundamental que ha de encarar todo investigador, pero la demanda profesional lleva a que esa tarea se oriente a comunicarse con otros expertos dentro del campo, y no con el público no experto. Sin embargo, algo está cambiando en este terreno. En el ámbito de la comunicación de la ciencia, el tradicional reparto de tareas entre científicos, divulgadores y periodistas, basado en que unos tienen el conocimiento y otros la capacidad de comunicarlo de manera eficiente al público, está en retroceso, lo cual no supone nada malo. Existe una tendencia

creciente a que los científicos adopten el papel de comunicadores directos con la sociedad. Sin embargo, esto supone una sobrecarga en demandas y exigencias sobre las funciones atribuidas a los científicos y tecnólogos. De algún modo se espera que los científicos, además de buenos investigadores, hayan también de ser buenos comunicadores, educadores y divulgadores, por no mencionar otras exigencias recientes, que no tienen nada que ver con la divulgación, relacionadas con la gestión de proyectos de investigación y La captación de recursos.

En general, los investigadores españoles, además de contar con pocos incentivos para comunicar sobre los campos que investigan, es lógico y habitual que no hayan recibido una formación específica en comunicación pública de la ciencia. Sin embargo, las demandas institucionales, moralmente, cada vez les exigen una función y un compromiso en tal línea (Torres-Albero *et al.*, 2011). Y normalmente a cambio de nada o a veces incluso penalizada académicamente. La divulgación es una tarea que se realiza las más de las veces desde la convicción personal, el amateurismo y la voluntariedad (Torres-Albero *et al.*, 2011; Serena & Tutor, 2011). La satisfacción personal y el sentido del deber son dos de los motivos más señalados por los científicos para su realización.

En todo caso, es interesante señalar que la divulgación de la ciencia no tiene por qué ser una actividad individualizada, a realizar en solitario, sino que se puede entender como una tarea colectiva en la que trabajen de manera coordinada científicos naturales, ingenieros, científicos sociales, educadores, periodistas o especialistas en comunicación, entre otros, lo cual no evita ni mucho menos una significativa inversión de tiempo.

### ***3.2.8. Un vacío en la participación y en los aspectos sociales, éticos, legales y medioambientales***

El declive teórico del modelo de déficit no se ha traducido en España en la adopción de alternativas de implicación participativa del público en las tareas de comunicación; algo que a partir del informe del comité de Ciencia y Tecnología de la británica House of Lords (2000) se denomina "public engagement of science". Es verdad que, observando las actividades de divulgación de la ciencia que se realizan, se ha roto con el modelo tradicional de comunicación en el sentido de que se han adoptado estrategias más lúdicas e

interactivas. Pero ese cambio se ha quedado corto a la hora de involucrar al público en procesos dialógicos y deliberativos, especialmente en los primeros momentos, así como en integrar las implicaciones sociales de la ciencia y la tecnología en la comunicación, dado que los desarrollos científicos y tecnológicos trascienden las cuestiones fácticas, resolubles básicamente a partir de la evidencia empírica disponible. Si bien, en el caso de la nanotecnología también son carencias que denuncian en otros países (Pidgeon *et al.*, 2011), es verdad que en muchos de ellos se han dado experiencias participativas (Doubleday, 2007; Kurath & Gisler, 2009). En todo caso, involucrar al público de manera “upstream” en los procesos de comunicación de la ciencia es una práctica inexistente en España (Revuelta, 2010), aunque las experiencias más recientes en divulgación de la ciencia, en general, y de la nanociencia y nanotecnología, en concreto, apuntan hacia su futura extensión, debido a que es una tendencia en auge en el ámbito de la comunicación de la ciencia.

### **3.2.9. Falta de una conciencia clara de las posibilidades de los nuevos medios de información y comunicación**

La presencia de la ciencia en los medios de comunicación más masivos, es decir, televisión, radio y prensa es deficitaria (Moreno-Castro, 2009). Y esta es una tendencia que se está acentuando recientemente. Como advierte Scheufele (2013:3), “la disminución del número de periodistas científicos a tiempo completo es particularmente problemática para cuestiones que combinan la investigación básica compleja, altos niveles de incertidumbre y dilemas multifacéticos, como es el caso de la nanotecnología”. Sin embargo, los propios científicos siguen valorando como más idónea la comunicación por tales medios, a pesar del hecho señalado y de seguir unas dinámicas o unas lógicas de funcionamiento ajenas a las necesidades e intereses de los científicos y de la ciencia (León, 1999). Lo que los investigadores más valoran de los medios clásicos es su capacidad de alcance y su poder de influencia. Frente a ello, la presencia de los nuevos medios es cada vez mayor y sus posibilidades y accesibilidad son notorias, tanto para informar como para informarse. En relación con esto, la última encuesta de percepción pública de la ciencia realizada por la FECYT (2012) muestra que Internet es ya la primera fuente de información sobre ciencia para los españoles, lo cual se confirma en otros países

(Brossard y Scheufele, 2013). Por su parte, Corley y Scheufele (2010) constatan el efecto positivo que tienen los nuevos medios para los públicos menos informados. Éstos están sirviendo para reducir la polarización informativa entre los públicos que tienen mayores y menores niveles culturales y educativos, aunque ésta es una cuestión por determinar en diferentes grupos sociales y países.

### ***3.2.10. Falta de información estructurada y definida que comunicar sobre nanotecnología***

La novedad y heterogeneidad de la nanotecnología son condiciones que pueden incidir en la falta de estructuración de contenidos de cara a ser comunicados al público o públicos. Se precisa establecer una serie de contenidos básicos y de dificultades, para, posteriormente, definir los medios y las estrategias adecuadas. En ese cometido, los expertos pueden jugar un papel fundamental, aportando sus conocimientos, juicios y estimaciones para paliar la situación de incertidumbre producida por la falta de información cuando un conocimiento no está estructurado y disponible en un momento dado. Con el fin de paliar tal carencia se ha emprendido el estudio Delphi cuyos resultados principales se exponen a continuación.

**Cuadro síntesis del apartado 3.2.**

PROBLEMA	REFERENCIAS
La falta de estudios sobre comprensión y comunicación pública de la nanotecnología	Comisión Europea, 2001; Serena y Tutor, 2011; Veltri 2012
La percepción negativa del público por parte de la comunidad científica	Besley y Nisbet, 2011
El desconocimiento de los españoles sobre nanotecnología	Comisión Europea, 2010
El poco interés de los españoles por la ciencia	Comisión Europea, 2001; Torres-Albero et. al., 2011
El déficit de actividades de divulgación de la nanociencia y la nanotecnología	Serena y Tutor, 2011
La persistencia del modelo de déficit	Sturgis & Allum, 2004; Cortassa, 2012
Falta de preparación de los científicos en comunicación pública de la ciencia	Torres-Albero et al., 2011; Serena & Tutor, 2011
Un vacío de participación y de atención a los aspectos sociales, éticos, legales y medioambientales	Revuelta, 2010
Falta de conciencia sobre las posibilidades de los nuevos medios de información y comunicación	Corley y Scheufele, 2010; FECYT, 2012; Brossard y Scheufele, 2013
Déficit de información estructurada y definida que comunicar sobre nanotecnología	

## IV. Resultados del estudio

En este apartado se recogen los principales resultados del estudio Delphi. En primer lugar se exponen los concernientes a la vertiente de asesoramiento u orientación, centrada en contenidos que se podrían considerar de índole conceptual o incluso procedimental, seguido de aquellos conceptos de mayor dificultad y los que pueden ser más fácilmente malinterpretados. Finalmente, se recoge la vertiente prospectiva, focalizada en la previsión o anticipación respecto de las repercusiones de la nanociencia y la nanotecnología, concretadas en beneficios y riesgos actuales y futuros.

### ***1. Contenidos públicos básicos de la nanociencia y la nanotecnología***

En primer lugar interesaba establecer una serie de contenidos fundamentales de la nanociencia y la nanotecnología que permitieran obtener una imagen suficientemente precisa de ambas. Con tal fin se preguntó a los expertos qué cuestiones consideran como las más básicas que la gente debería saber, lo cual incluía de algún modo la jerga o terminología que debería sonarle de este nuevo campo o campos. Con el fin de facilitar la respuesta, en la primera ronda, se dio a los expertos la opción de señalar de uno a cinco ítems. E obtuvieron en total 155 ítems, los cuales, tras ser categorizados quedaron resumidos en 26. A partir de este listado unitario, dado lo farragoso que hubiera sido pedirles a los expertos que ordenaran los ítems resultantes, se les solicitó que valoraran cada uno de ellos de uno a tres, según los consideraran más o menos básicos. El resultado queda recogido en la tabla siguiente (*tabla 12*), ordenados a partir de las medias resultantes de cada uno de ellos.

**Tabla 12.** *Contenidos más básicos de la nanotecnología que el público debería conocer*

	Moda	Orden 2ª ronda	Orden 1ª ronda
Usos y aplicaciones actuales de la nanociencia y la nanotecnología de interés para la sociedad	1	1	3-4
Beneficios y ventajas desde el punto de vista científico, técnico, social, económico de la nanociencia y la nanotecnología	1	2	3-4
Las magnitudes o dimensiones a que se refiere la nanoescala	1	3	1
Productos de uso cotidiano actualmente comercializados	1	4	10-11
El significado y caracterización de qué son la nanociencia y la nanotecnología	1	5	5
La importancia y los objetivos de la nanociencia y la nanotecnología	1	6	17-19
La razón de por qué invertir tantos recursos económicos en la nanociencia y la nanotecnología	1	7	20-26
Aplicaciones futuras de la nanociencia y la nanotecnología	1	8	12-16
Riesgos, costes y problemas de la nanociencia y la nanotecnología	1	9	7-8
La identificación de diferentes entidades u objetos físicos, químicos y biológicos según sus tamaños (átomos, moléculas, virus, células...)	1	10	10-11
Las conexiones entre la investigación en nanociencia y nanotecnología y el mundo de la industria y la empresa	1	11	20-26
Cuestiones relativas a la seguridad de la nanomanipulación y de los nanomateriales	1	12	6
Distinguir lo que son o pueden ser aplicaciones reales de la nanociencia y la nanotecnología de las exageraciones, más propias de la ficción	1	13	20-26
La relación que hay entre la dimensión o escala y las diferentes propiedades que presentan los materiales o sistemas por los efectos clásicos y cuánticos del tamaño	1	14	2
El hecho de que la realidad de que tratan la nanociencia y la nanotecnología no es una novedad reciente, sino que el ser humano ha empleado materiales nanoparticulados y nanoestructurados y que, además, forman parte de los procesos naturales	1	15	7-8
Que la nanociencia y la nanotecnología no son la panacea para resolver todos los problemas de la sociedad y del ser humano	1	16	20-26
La naturaleza atómica de la materia	1	17	17-19
La etimología de las palabras "nano", "nanociencia" y "nanotecnología"	1	18	12-16
Conocimientos científicos generales sobre matemáticas, física, química y biología	2	19	12-16
Que no todo lo que lleva la etiqueta "nano" lo es	2	20	20-26
Los tipos de materiales, estructuras y dispositivos básicos de la nanociencia y la nanotecnología	2	21	20-26
Los orígenes de la nanociencia y la nanotecnología	2	22	20-26
El instrumental técnico con el que se estudia y trabaja a escala nanométrica	2	23	9
Las diferencias y relaciones que hay entre la nanociencia y la nanotecnología	2	24	12-16
El hecho de que ni la nanociencia ni la nanotecnología son disciplinas, sino un ámbito científico-técnico diverso, interdisciplinar y transversal	2	25	12-16
Métodos de fabricación ascendente y descendente	2	26	17-19

En los resultados vemos que todas las repuestas han sido incluidas en una de las dos primeras categorías, y que ninguna se ha considerado no-básica. Si nos fijamos en la moda, las cuestiones más básicas serían las dieciocho primeras, mientras que el resto (19-26) serían menos básicas. En cuanto a los contenidos, destaca que los ítems que ocupan los primeros lugares tienen que ver con repercusiones, en principio positivas de la nanociencia y la nanotecnología (1, 2, 4, 8), dado que los aspectos concernientes a riesgos y seguridad aparecen en los lugares noveno y duodécimo, respectivamente.

En relación con lo primero, es de destacar que los aspectos prácticos y vinculados a la cotidianeidad (1, 2, 4) queden por delante de contenidos que son de índole más estrictamente conceptual (3, 5 y 10). Un caso significativo es el que tiene que ver con la cuestión del tamaño o escala, que en la primera ronda era la respuesta de mayor frecuencia (1), y que en la segunda ronda aparece en la tercera posición. Pensamos que el cambio en el orden puede deberse a que lo que se ha primado es la divulgación y, con ello, la importancia de captar y atraer la atención del público sobre la nanotecnología, lo cual se hace pensando en la efectividad de la comunicación.

Los dos cambios de posición más significativos son los que competen a la justificación de la inversión económica en nanotecnología (7), que en la primera ronda sólo recibió una mención. Al revés ocurre con el ítem "la relación que hay entre la dimensión o escala y las diferentes propiedades que presentan los materiales o sistemas por los efectos clásicos y cuánticos del tamaño". En la primera ronda era el segundo, con un 12% de mención, mientras que en la segunda ronda aparece en la posición número catorce. Creemos que esta cuestión pudo ser menos valorada al ser vista como de mayor dificultad que otras, cabiendo la posibilidad, en este caso concreto, pudiera haber influido la manera en como quedó redactada en el cuestionario.

Con respecto a los ítems que ocupan las posiciones once a veintiséis, predominan tres tipos de contenidos: (a) de clarificación, (b) cuestiones básicas de la ciencia, y (c) aspectos históricos y lingüísticos. Ejemplos respectivos de cada uno de ellos son: que 'no todo lo que lleva la etiqueta "nano" lo es' (20), 'la naturaleza atómica de la materia' (17), y 'los orígenes de la nanociencia y la nanotecnología' (22).

No creemos que la ordenación de contenidos resultante deba entenderse como un listado canónico de cara a la comunicación o divulgación de la nanociencia o nanotecnología tanto en lo que respecta a algún tipo de prioridad como en el conjunto global de cuestiones señaladas. Sin descartar que pueda servir como base para una reflexión pedagógica más profunda, en todo caso, puede servir bien para que comunicadores y divulgadores de la nanociencia y la nanotecnología testen formal o informalmente los contenidos que van a transmitir, bien para realizar pruebas de distinto tipo sobre niveles de conocimiento a las diferentes audiencias y públicos. En suma puede servir como compendio básico y red conceptual que permite elaborar de manera flexible diferentes trayectos entre contenidos listos para ser transmitidos.

## ***2. Contenidos públicos básicos de especial dificultad***

Junto a este primer aspecto, el acercamiento de la nanotecnología al público, conceptualmente, debe tener en cuenta dos elementos fundamentales más, a saber: el nivel de dificultad de los conceptos básicos y la proclividad o facilidad de malinterpretación. Si bien es verdad que "ser básico" o "fundamental" puede ser objeto de disquisición y desacuerdo, el concepto "dificultad" todavía parece más impreciso. No obstante, recordemos que el sistema educativo, desde su inicio hasta los últimos niveles, está basado en la selección y programación de contenidos a partir de esta doble clasificación, y que cualquier docente o experto en una cuestión puede trazar una ruta progresiva de aprendizaje de ciertos contenidos de una materia sobre la que se tiene un buen dominio, ya sea en abstracto o ya sea focalizada para un tipo de receptor o destinatario concreto y no experto en ella.

Para generar un listado de conceptos básicos con una mayor dificultad, se pidió a los expertos que indicaran aquellas cuestiones que, siendo básicas, juzgaran de más difícil comprensión. Para esta cuestión, el número de ítems de respuesta obtenido fue de noventa, que quedaron reducidos a veinte, tras la categorización. En la segunda ronda, estos ítems fueron evaluados por los expertos de uno a tres, de acuerdo a su nivel de dificultad, como "conceptos básicos

muy difíciles" (1), "conceptos básicos difíciles" (2) y "conceptos que no se estimaba que revistieran especial dificultad" (3).

En la tabla siguiente (*tabla 13*) se recogen los ítems resultantes, ordenados de mayor a menor dificultad, a partir del cálculo de las medias de cada uno de ellos. Es importante tener presente que dicho listado no es un listado de conceptos complejos o de especial dificultad de la nanociencia y la nanotecnología, sino conceptos básicos o fundamentales que pueden estar presentes en cualquier actividad de comprensión pública de la nanotecnología, y que comparativamente hablando puede revestir una mayor dificultad que otros. Aún así, es posible que algunos de los conceptos recogidos trasciendan ese nivel básico en el que se pretendía agrupar. En este sentido algunos de ellos podrían añadirse a los conceptos básicos antes recogidos (*tabla 12*). De hecho siete de ellos son comunes a ambas cuestiones. En concreto son los que en el listado siguiente (*tabla 13*) ocupan los lugares tercero, decimocuarto, decimosexto, decimoséptimo, decimoctavo, decimonoveno y vigésimo:

- Las razones de por qué en la nanoescala cambian las propiedades de ciertos materiales y se comportan de manera distinta a como lo hacen a otras escalas mayores (3º; 14º en *tabla 12*).
- Las cuestiones relativas a la seguridad y riesgos de la nanotecnología y sus usos (14º; 12º en *tabla 12*).
- Las magnitudes y dimensiones de las que trata la nanoescala (16º; 3º en *tabla 12*).
- Tener, más o menos, claro el tamaño relativo de determinados objetos físicos, químicos y biológicos (17º; 10º en *tabla 12*).
- El hecho de que muchos de los pronósticos que se hacen luego no se vean realizados (18º; 13º en *tabla 12*).
- El hecho de que la nanociencia y la nanotecnología no son ni una ciencia ni una tecnología, sino un terreno muy amplio en el que hay involucradas muchas disciplinas y ramas del conocimiento, además de sectores industriales, lo cual hace difícil una visión global (19º; 25º en *tabla 12*).
- El hecho de que la nanociencia nanotecnología no es ni tan exótica ni tan nueva como se la presenta. Hay fenómenos y procesos en la

naturaleza y también técnicos que ocurren en la nanoescala (20º; 15º en *tabla 12*).

**Tabla 13.** *Contenidos más básicos de mayor dificultad para la comprensión pública*

	orden 2ª ronda	orden 1ª ronda
La spintrónica	1	12-20
El autoensamblado molecular	2	12-20
Las razones de por qué en la nanoescala cambian las propiedades de ciertos materiales y se comportan de manera distinta a como lo hacen a otras escalas mayores	3	1
La modulación de las propiedades de los nanomateriales	4	12-20
Cómo se manipula la material a escala nanométrica y cómo se consigue que los materiales tengan determinadas propiedades	5	6-8
Los procesos artificiales y naturales de nanoestructuración	6	12-20
Los equipamientos y el instrumental para estudiar y manipular en la nanoescala y su funcionamiento	7	4-5
Las técnicas de control y caracterización de la materia a escala nanométrica	8	12-20
La funcionalización de nanomateriales	9	12-20
El funcionamiento práctico de las aplicaciones de la nanotecnología y su base	10	4-5
El propósito que tiene hacer componentes a escala nanométrica y cómo se hacen	11	9-11
Los nuevos materiales (grafeno, nanotubos...)	12	12-20-
La convergencia de física, química y biología en la nanoescala	13	12-20
Las cuestiones relativas a la seguridad y riesgos de la nanotecnología y sus usos	14	3
La integración de dispositivos nanométricos en sistemas de mayor tamaño	15	6-8
Las magnitudes y dimensiones de las que trata la nanoescala	16	2
Tener, más o menos, claro el tamaño relativo de determinados objetos físicos, químicos y biológicos	17	6-8
El hecho de que muchos de los pronósticos que se hacen luego no se vean realizados	18	9-11
El hecho de que la nanociencia y la nanotecnología no son ni una ciencia ni una tecnología, sino un terreno muy amplio en el que hay involucradas muchas disciplinas y ramas del conocimiento, además de sectores industriales, lo cual hace difícil una visión global	19	12-20
El hecho de que la nanociencia nanotecnología no es ni tan exótica ni tan nueva como se la presenta. Hay fenómenos y procesos en la naturaleza y también técnicos que ocurren en la nanoescala	20	6-8

A la hora de clasificar este conjunto de ítems, se podrían hacer dos grupos. Por un lado, las cuestiones que agruparemos en la categoría "a", y, por otro, las que identificaremos como cuestiones de tipo "b", "c" y "d".

La mayoría de las cuestiones señaladas por los expertos caen dentro de la primera categoría, a saber:

(a) procesos y procedimientos de la nanotecnología

El segundo grupo se refieren a:

(b) nuevos materiales (12º), como es el caso del grafeno o los nanotubos;

(c) cuestiones conceptuales como la escala o magnitud (16º y 17º), y

(d) aspectos de índole contextual relacionadas con expectativas y representaciones sociales de la ciencia y la tecnología (18º, 19º y 20º).

En relación con el resultado obtenido, a la hora de llevar a cabo las tareas de información y divulgación se habrá de tener presente lo que puede ser un doble grado de dificultad: procesos y procedimientos (a), por una parte, y el resto de cuestiones (b, c, d), por la otra.

La dificultad o complejidad es un aspecto que suele señalarse en general del conocimiento especializado, especialmente el científico y tecnológico. Pero, por otro lado, también es relativa a los niveles de conocimiento y formación de los públicos receptores. En abstracto, esta lista puede servir, más que para rehuir usar dichos conceptos, para planificar su temporalidad y prever estrategias de comunicación para algunos de estos ítems, o bien un aviso a la hora de hacer un mayor énfasis explicativo o didáctico en dichos conceptos o aspectos.

### ***3. Cuestiones de nanociencia y la nanotecnología que más fácilmente pueden prestarse a ser mal comprendidas o malinterpretadas por el público***

Junto a los dos aspectos ya tratados, esto es, la falta de conocimientos y de la complejidad de las cuestiones implicadas, un tercer problema concurrente en la comprensión pública de la nanotecnología tiene que ver con la confusión o mala interpretación de algunos de sus conceptos o términos. Principalmente ha sido desde el campo de la enseñanza o didáctica de las ciencias desde dónde más investigación se ha realizado en tal sentido. Una mala interpretación o tergiversación de conceptos puede dar lugar al equívoco, como también producir confusión o preocupación. Y, como se ha señalado, los significados atribuidos equívocamente por los sujetos pueden condicionar sus comportamientos y sus actitudes hacia cosas, actividades, campos, personas o sistemas.

Por experiencia, todos sabemos que en los procesos de comunicación cualquier símbolo o signo puede ser malinterpretado erróneamente. Eso mismo se podría decir de cualquier concepto científico y, más concretamente, de cualquier concepto o término de nanociencia o nanotecnología. Por otro lado, también se sabe que los sujetos interpretamos la información y construimos el conocimiento mediante unos mecanismos psicológicos más o menos identificados (heurísticos, prejuicios, marcos); y, en relación con ello, a partir de los sistemas de creencias y los bagajes de significados previamente adquiridos. Eso significa que hay símbolos que son más proclives a ser malinterpretados, y que en la nanociencia y la nanotecnología no es una excepción. Pero también se sabe que la reducción de la ambigüedad semántica es un proceso que va de la mano de la adquisición progresiva del dominio conceptual de un campo temático.

El desconocimiento inicial es, pues, el factor más relevante a tener presente como causa de malinterpretación de ciertos contenidos. Junto a ello, la dificultad del conocimiento científico, así como la novedad de muchos los términos, conceptos o cuestiones de nanociencia o nanotecnología puede ser otros elementos orientativos

hacia la predisposición o tendencia a que algo sea malinterpretado. Entendemos por malinterpretación la asignación de un significado parcial o totalmente alejado del sentido establecido para un símbolo. Por otra parte está la lejanía de lo cotidiano y de lo fenoménico, es decir, de lo que se pueden captar de manera directa por los sentidos o la experiencia. Finalmente, podemos tener presente la carga o bagaje de conexiones que algunos términos pueden evocar por asociación con los conocimientos y experiencias de los individuos.

Con el fin de identificar algunos de los posibles conceptos o temas susceptibles de ser fácilmente malinterpretados o que se prestaran al equívoco, se pidió a los expertos, en la primera ronda, que señalaran aquellos que les parecieran oportunos; en este caso sin fijar ningún número límite. El número total de ítems resultante fue de ciento tres, que quedaron clasificados en cuarenta y siete. De ellos, treinta y cuatro con una única mención, y ocho, con dos. Los cinco restantes recibieron entre nueve, el más citado, y tres menciones. Esto, sin contar que algunos términos científicos de carácter bastante general que al final no fueron incluidos (*i.e.* "magnetismo", "dominio magnético", "ión"...), así como también algunas aportaciones en forma de comentarios y reflexiones de carácter analítico. El resultado apunta, pues, a una gran cantidad de ítems que los expertos consideran fácilmente interpretables de manera errónea; sobre todo debido al desconocimiento público. Por otro lado, el hecho de no haber efectuado en la segunda ronda ningún tipo de demanda que pudiera hacer converger las respuestas, tiene que ver con la cantidad de ítems resultante.

El grupo coordinador del estudio consideró, sin embargo, que el resultado ya era interesante de por sí en la primera ronda, lo cual, además favorecía no recargar el cuestionario de la segunda ronda.

Lo que se consideró más interesante de cara al análisis era encontrar elementos que incidieran en las posibles distorsiones y desviaciones en la interpretación. En este sentido, se encontró –ya señalado por algunos de los participantes– que lo más evidente podía ser el hecho de que algunos de los conceptos que se emplean en nanotecnología son términos del lenguaje común que llevan antepuesto el prefijo 'nano'<sup>6</sup>. Esta circunstancia puede llevar al público no experto a

---

<sup>6</sup> Ejemplos de ello son: nanopunto, nanotijeras, nanohilo, nanoaguja, nanopinza (relacionados con el campo más cotidiano de la costura y por cercanía, el quirúrgico), nanoantena, nanocuerno.

pensar, en este caso erróneamente, en los objetos, dispositivos o estructuras de la nanoescala en función de los objetos cotidianos cuyo nombre se utiliza para el nuevo concepto.<sup>7</sup>

Los resultados, con la frecuencia de respuesta (que prácticamente se pueden leer también como porcentajes) se encuentran recogidos en la siguiente tabla (*tabla 14*). En algunos casos se incluye a modo de aclaración la razón dada por los expertos explicando por qué el concepto en cuestión puede ser malinterpretado.

---

<sup>7</sup> Ya no para este caso concreto, sino en general en la divulgación científica, la analogía desempeña un papel fundamental a la hora de facilitar muchas cuestiones científicas al público. Sirven, como ya señaló Aristóteles, para dar claridad, esto es, para facilitar la exposición y la comprensión de determinados conceptos y teorías científicas. Pero su uso también conlleva inconvenientes, sobre todo, los relacionados con la malinterpretación y distorsión.

**Tabla 14.** Cuestiones relacionadas con la nanociencia y la nanotecnología que más fácilmente pueden prestarse a malinterpretación

	<b>n</b>		
1. Los aspectos toxicológicos de los nanomateriales, biotoxicidad, nanotoxicidad (por la dificultad de esas cuestiones o porque puede dar lugar a pensar que todos los nanomateriales son tóxicos)	9	21. Nanoconjugados	1
2. Nanorobots, nanobots	8	22. Nanocompuestos	1
3. Nanopartícula(s) (porque se puede asociar a radiactivo)	7	23. Nanohuecos	1
4. Nanopuntos, quantum dots	4	24. Nanoestructuras	1
5. Manipular, nanomanipulación (por asociación con otras ramas científicas o por el sentido negativo del término "manipular")	3	25. Nanosistemas	1
6. Todos los términos de uso común a los que se añade el prefijo "nano" pueden ser malinterpretados	2	26. Nanoalimentos	1
7. Pensar que los nanomateriales, nanoestructuras son algo nuevo. O que es distinto por ejemplo del ámbito atómico o molecular	2	27. Máquinas moleculares	1
8. Autoensamblado	2	28. Nanosensor	1
9. Nanotubos	2	29. Nanomáquinas	1
10. Nanohilos	2	30. Nanoherramientas	1
11. Encapsulación-nanoencapsulados	2	31. Nanoimanes	1
12. Nanobiotecnología	2	32. Nanopartículas superparamagnéticas	1
13. Términos usados en forma superlativa pueden generar una desconfianza	1	33. Nanotransportadores	1
14. Expresiones condicionales grandilocuentes sobre resultados revolucionarios futuros en el campo de la nanotecnología	1	34. Nanopartículas multifuncionales	1
15. La interacción entre nanomateriales y sistemas biológicos	1	35. Nanocuernos	1
16. Cuántico, (porque se relaciona con atómico)	1	36. Nanodiamantes	1
17. Efectos cuánticos	1	37. Nanoreactor	1
18. Funcionalización	1	38. Nanotijeras	1
19. Compuestos metal-orgánicos o híbridos	1	38. Nanoaguja	1
20. Sustitución atómica	1	40. Nanoantenas	1
		41. Nanopinzas	1
		42. Nanobiomedicina	1
		43. Capas nanoestructuradas	1
		44. Direccionamiento de nanosistemas	1
		45. Biomarcador	1
		46. Plasmón	1
		47. Polaritón	1
		<i>Items no clasificados</i>	17
		<i>No respuesta</i>	3
		<b>TOTAL DE ÍTEMS</b>	<b>103</b>

Con respecto a los términos o cuestiones señaladas por los expertos, el primer lugar lo ocupan, en conjunto, los aspectos toxicológicos de los nanomateriales o conceptos como "nanotocicidad" (9%), bien por la dificultad de esas cuestiones o porque el mero hecho de mencionar el tema puede hacer pensar que todos los nanomateriales son peligrosos o tóxicos. En segundo lugar, están términos como "nanorobots" o "nanobots" (8%), seguramente por su vinculación con las fantasías catastrofistas del novelista Michael Crichton (2002)<sup>8</sup>. A continuación aparecen expresiones como "nanopartícula" (6%) o el término "manipular" (5°; 3%), porque en el imaginario social pueden vincularse a actividades que impliquen riesgo o peligro. O también porque puede asociarse a la manipulación genética y a los OMG. En este caso también caería el término "nanoreactor" por más que se refiera a las micelas (36°; 1%). Entre ambas, destacan los términos "nanopunto" o *quantum dot* (punto cuántico) (4°; 5%), uno de los términos clave en este campo científico, que sin embargo, no ha aparecido en los listados anteriores.

Dentro de la diversidad de ítems obtenidos, entre los expertos se pone de manifiesto una mayor preocupación por un cierto tipo de confusiones o malinterpretaciones. Así, de los cinco primeros ítems, cuatro de ellos, apuntan en una dirección común, aunque no en todos los casos se explicita, a saber, la idea de riesgo, amenaza, peligro o desconfianza. Idea que aparece en algún caso más, relacionada en concreto con el empleo de un lenguaje superlativo (13°) o con lo atómico (16°). Después de ello, lo que más destaca es la cantidad de términos que tienen el prefijo "nano". De hecho se ha incluido la consideración hecha por un par de expertos de que cualquier término precedido por el prefijo "nano" se presta a confusión, entre ellos el ya mencionado, "nanopunto".

A partir de lo anterior, la tentación de crear una agrupación dual entre aquellos términos que llevan el prefijo "nano", por un lado, y aquellos conceptos que pueden inducir preocupación y desconfianza social, por otro, es clara. Esto puede servir para establecer una tipología inicial y sencilla de acercamiento o tratamiento de la problemática. Sin embargo, dado que las confusiones o malinterpretaciones son de naturaleza distinta, también lo son, en consecuencia, las soluciones. De ahí que una tipología más elaborada

---

<sup>8</sup>Este conocido autor imagina en su novela *Prey* una amenazante "plaga gris" de diminutos robots invisibles al ojo humano (*nanobots*), autoreplicándose descontroladamente.

pueda ser de más utilidad, como la que se expone a continuación, en la cual se tiene presente no tanto el contenido como la extensión y la causa del error; y en la que se tienen en cuenta no sólo los ítems del listado de la tabla anterior (*tabla 14*), sino también algunos de los comentarios de los expertos. En total está compuesta de siete factores divididos en dos grupos:

A)- confusión y malinterpretación sobre aspectos y significados específicos:

- 1) la mayor parte de términos que incluyen el prefijo "nano"; por asociación con los significados que tiene el término o el objeto ordinario o común conocido,
- 2) otros términos y conceptos de "nano", y científicos en general; principalmente debido a su dificultad o complejidad,
- 3) términos que se asocian o vinculan con ámbitos sobre los que ya existe una percepción pública negativa, la cual puede trasladarse al nuevo concepto ("atómico", "nuclear", "manipulación"...),
- 4) términos que por llevar partículas lingüísticas que expresan intensidad pueden producir generar la impresión de exceso de poder ("nanopartículas superparamagnéticas", "sobrecalentamiento de las nanopartículas magnéticas", "campos magnéticos intensos", "superconducción eléctrica" o - aunque no es exactamente el caso, ya que aquí la posible desviación derivaría del imaginario armamentístico- "conducción eléctrica balística de los nanotubos de carbono"),
- 5) términos que forman parte de los imaginarios de la ficción y la especulación futurista, a veces con tintes catastrofistas, como el ya aludido "nanorobot". Pero también hay que considerar, en el otro extremo, los que enfatizan exageradamente las potencialidades positivas que, por falta de realismo, son otra fuente confusión en el otro sentido, al hacer albergar esperanzas de imposible o muy difícil cumplimiento, como luego se insistirá.

B)- confusión y malinterpretación sobre ámbitos y relaciones:

6) tanto en lo que respecta a la novedad terminológica como en lo que respecta a la dualidad artificial/natural. El prefijo "nano", así como los términos "nanociencia" y "nanotecnología" puede dar la impresión de que el campo de actividad es distinto de algo que puede ser conocido por grandes sectores del público, como es la escala de las moléculas. En realidad se está aplicando la etiqueta "nano" para cosas que se han venido haciendo en campos como la Química o la Física. Por eso, el vender lo nano como algo diferente ya es un motivo de confusión. Según señala uno de los participantes:

"[E]l uso de NANO puede hacer creer al público que uno se está moviendo en un campo distinto del molecular. Es aquí, a mi entender, donde reside la mayor confusión [...] Tan sólo se huye del uso de la palabra Química que, salvo cuando se usa para la relación entre personas, tiene unas connotaciones negativas en el saber popular" (A-3).

7) sobre el funcionamiento de la ciencia, en especial de los campos emergentes, en relación con los logros y consecuencias, en concreto, sobre la generación de promesas y grandes expectativas sobre la solución a determinados problemas de salud, medioambientales o de desigualdad social, entre otros, con pocos o ningún fundamento, como a los posibles plazos de consecución de ciertos logros. E igual con respecto a la producción de ciertas catástrofes o desastres.

Sobre las causas, ya hemos citado la novedad, la gran cantidad de términos nuevos, la complejidad que conllevan la mayoría de campos científicos y técnicos actuales o la lejanía de lo accesible mediante los sentidos. Los participantes, además, apuntan a una falta de base general de conocimiento científico. "Es muy difícil hacer cultura o divulgación de fenómenos o materiales a nanoescala cuando no se ha hecho una cultura o divulgación adecuada o efectiva a escalas 'normales'" (A-38). Algunos expertos han indicado que no se trata de una cuestión de palabras o términos, y que depende de la habilidad del comunicador para evitar la producción de equívocos. Finalmente, hay quienes sostienen que la malinterpretación se puede producir con cualquier término científico.

Es cierto que los procesos de interpretación y atribución de significados son contingentes y abiertos, además de muy difíciles de prever, y que el interés por la comprensión adecuada puede dar lugar a una preocupación que puede resultar poco productiva. Como se ha probado, la confusión o malinterpretación puede ser utilizado pedagógicamente como un recurso estratégico en la enseñanza o en la divulgación científica (Campanario, 2003). Un problema relacionado con todo esto es la dificultad de detectar confusiones, distorsiones y malinterpretaciones del público a través de las actividades más comunes de divulgación de la ciencia, ya que normalmente surgen de manera circunstancial y espontánea. El empleo de formas de divulgación y comunicación científica interactivas de tipo dialógico, frente a las clásicas, de tipo unidireccional o monológico puede ayudar en este sentido. En ellas el divulgador siempre tiene más fácil recurrir a algún mecanismo para ir comprobando que las cosas se entienden, más o menos, como el comunicador desea.

En general, el hecho de poseer una mínima base conceptual sobre la nanotecnología, así como el énfasis a la hora de clarificar aquellos términos que se prestan más fácilmente a ser distorsionados por su asociación con otros, son prevenciones útiles a tener en cuenta cuando se informe sobre este campo científico y tecnológico. Así, como por ejemplo, poner sobre aviso de la falsedad de muchas de las posibles analogías o conexiones que más fácilmente pueden establecerse. Esto, junto con el hecho de no abusar de términos nuevos y explicar de manera asequible los que se pueda, son acciones que pueden favorecer la comprensión pública de la nanotecnología, en relación con la cuestión abordada.

#### ***4. Beneficios y riesgos de la nanociencia y la nanotecnología***

El concepto de "riesgo", propio en un tiempo no muy lejano de ámbitos como el mercantil y financiero, el tecnológico o los seguros, ha colonizado estas dos últimas décadas prácticamente todas las facetas y actividades de la vida humana, desplazando a otros conceptos como "peligro" o "amenaza". Tal generalización puede producir la impresión de que vivimos rodeados permanentemente de

riesgos. Según lo expone el sociólogo alemán Ulrich Beck (1986), el riesgo es en estos momentos una condición que cruza transversalmente la vida social, convirtiéndose en uno de los rasgos definitorios de la época actual. De ahí que haya denominado a la sociedad en que vivimos "sociedad del riesgo". Sin embargo, vivir en la sociedad del riesgo no sólo se debe a una generalización de los riesgos -en cantidad y en alcance-, sino también a un incremento de la conciencia individual y colectiva de riesgo, es decir, a la generalización de una manera de interpretar y vivir la realidad que nos rodea; lo cual en gran medida es una consecuencia reflexiva del aumento y accesibilidad del conocimiento. Por eso, el modo en que los actores perciben y valoran los riesgos se ha convertido en una cuestión de estudio de diversas ciencias sociales en la medida en que se ha convertido en una variable explicativa del comportamiento de los actores sociales.

En relación con ese hecho, el conocimiento y comunicación de riesgos tiene cada vez más presencia e importancia en el ámbito de la comprensión pública de la ciencia. Como se señaló antes, diversos estudios muestran que la percepción de los riesgos y beneficios es un factor importante en las actitudes ante determinadas tecnologías, la nanotecnología en este caso (Cobb, 2005; Druckman y Bolsen, 2011). Sin embargo, son diversos los retos que de entrada plantea la consideración de los riesgos en la percepción pública.

En primer lugar, a pesar de la popularización del término, todavía hablar de riesgos de la nanotecnología puede dar lugar al equívoco entre la opinión pública de que la nanotecnología es peligrosa, lo cual puede alimentar la tentación, sobre todo entre investigadores y empresas, de omitir hablar de ellos o hacerlo de manera muy sesgada o superficial. Está claro que esto es un riesgo, que puede ser contraproducente a medio o largo plazo. Los diversos estudios sobre percepción y comunicación de riesgos apuntan a que lo más idóneo es proporcionar en cada caso una información realista, oportuna, ajustada y transparente (Petersen, *et al.*, 2009; Simons *et al.*, 2009; Priest, 2012).

En segundo lugar, la percepción y valoración de los riesgos difiere significativamente entre científicos y ciudadanos. Por lo general, en el caso de la nanotecnología, el público percibe más los riesgos y menos

los beneficios de la nanotecnología que los expertos en el campo (Siegrist *et al.*, 2007b; Ho *et al.*, 2011).

La excepción la representan algunos aspectos concretos en que es al revés, como es el caso de cuestiones relacionadas con la contaminación medioambiental y los impactos sobre la salud a largo plazo (Scheufele *et al.*, 2007). El trabajo diario, en contacto directo con la nanoescala, nanopartículas, nanomateriales, así como también con otros investigadores, además de informes de instituciones como la Royal Society (2004), son factores que pueden dar perfecta cuenta de estas actitudes.

Sobre la manera diferente de percibir y valorar los riesgos, Ho *et al.* (2011), han encontrado que el público general y los expertos razonan de manera diferente respecto de los de la nanotecnología. El público basa más sus análisis en heurísticos de todo tipo y poco en la ciencia, mientras los científicos lo hacen basándose en evidencias empíricas y datos de estudios que ofrece la ciencia. El público tiende a dar credibilidad o no a esos resultados más en función de sus propias creencias y, en todo caso, de factores político-económicos que rigen el sistema científico, que de los resultados experimentales concretos.

Además de todo ello, también la percepción y ocurrencia de riesgos están relacionados con los mecanismos y sistemas de regulación y control existentes (Cobb y Macoubrie, 2004). Y se podría añadir, más como hipótesis probable que como hecho confirmado, que también de las opciones de participación o intervención de que disponen los diversos agentes sociales.

Finalmente, y no la menor, por el hecho de concernir al futuro como por estar hablando de un campo incipiente y en pleno desarrollo, identificar y evaluar una serie de riesgos puede verse como una tarea difícil. Nos hallamos en el contexto de lo que Funtowicz y Ravetz, (1993) denominan "ciencia posnormal". La "ciencia posnormal" se caracteriza, entre otras cosas porque en muchas ocasiones hay que tomar decisiones de manera urgente, con elevada incertidumbre, sobre temas que podrían conllevar consecuencias potencialmente graves, y a menudo sin una teoría científica asentada detrás para respaldar dichas situaciones. En un contexto como el descrito, el concurso de los expertos es un asidero fundamental. Y la técnica Delphi es una de las herramientas más adecuadas para suministrar o

producir información útil en tales situaciones. Una información que debe servir para obtener una retroalimentación del público.

Tanto el aspecto técnico que conlleva como el hecho de concernir al futuro convierte la técnica Delphi una herramienta adecuada para evaluar la ocurrencia de posibles riesgos, y también de beneficios. Ya hemos señalado anteriormente el carácter incierto de la ciencia y la tecnología contemporánea, lo cual revierte sobre la incertidumbre del propio campo. En este contexto, la mejor estrategia no es no hablar de los riesgos de la nanotecnología, sino hacerlo de manera realista. Por todo ello, preguntamos a los expertos por los riesgos y beneficios vinculados a la nanotecnología. En primer lugar, por los beneficios sociales que se han producido. Sobre esto, creemos que los resultados y aplicaciones de la nanotecnología son absolutamente desconocidos para la mayoría del público, aunque no tenemos ninguna fuente para contrastar esta impresión. En segundo lugar, preguntamos a los expertos participantes tanto por los beneficios como por los riesgos que se pueden dar en un futuro cercano, a diez años vista, un periodo de tiempo que nos parecía suficiente para hacer cálculos realistas.

Las expectativas suscitadas por la nanotecnología no deben hacer perder de vista que ya existen centenares de productos nanotecnológicos manufacturados en el mercado accesibles a los consumidores, más los que se aplican industrialmente en infraestructuras o construcción o los que se emplean en el campo de la medicina. Prácticamente todo ello ha pasado totalmente desapercibido al público. Por eso era interesante, en primer lugar, que el público conociera los "beneficios sociales" que se han derivado actualmente de las aplicaciones de la nanotecnología. Ciertamente el término "social" es demasiado abierto e incluso ambiguo, pero no acotar el tema de los beneficios suponía dejar la respuesta demasiado abierta. Para ello pedimos, en la primera ronda, a los participantes que señalaran entre uno y tres de esos beneficios. En la categorización de las respuestas intentamos primar los ítems que señalaban resultados concretos sobre aquellos otros de tipo más general. El resultado es el que se recoge en la tabla siguiente (*tabla 15*):

**Tabla 15.** Lista de beneficios sociales derivados de la nanotecnología (% de respuestas)

Mejora en la eficacia terapéutica de ciertos fármacos como inmunosupresores o terapia hormonal como para el tratamiento enfermedades infecciosas o tumores cancerosos	25
Optimización de los dispositivos electrónicos de información y comunicación en características como el tamaño físico, la capacidad o memoria, la potencia y el coste económico (teléfonos móviles, ordenadores...).	17
Recubrimientos para funcionalizar superficies. Propiedades funcionales especiales en muchas superficies (repelentes del agua, autolimpiables, anticorrosivas, no reflectantes, control de las radiaciones, biocidas para, por ejemplos electrodomésticos como neveras).	7
Mejoras en los métodos de diagnóstico de enfermedades (agentes de contraste, biosensores) o de los test de embarazo	6
Filtros solares con mejor protección	6
Materiales más resistentes y ligeros	4
Regeneración de tejidos nerviosos, óseo...	3
Células solares fotovoltaicas más eficientes	3
Catalizadores y filtros zeolíticos como de nanopartículas para las emisiones de CO2 y otros gases contaminantes	3
Liberadores-dosificadores de fármacos mucho más selectivos y menos invasivos y efectos secundarios	2
Tratamiento, purificación de aguas contaminadas	2
Alimentación	2
Abaratamiento en los costes de producción de fármacos	1
Métodos de secuenciación masivos de genoma	1
Tecnología OLED, para pantallas de dispositivos electrónicos	1
Fibras y prendas textiles nanoestructuradas (repelentes de la suciedad, el agua o antimicrobianos...)	1
Nuevos plásticos	1
Materiales poliméricos para automóviles	1
Optimización en detergentes y productos de limpieza	1
Sistemas para la vehiculización de insecticidas	1
Reducción del uso de materias primas en la producción industrial	1
Artículos deportivos	1
Ninguno	3
No clasificados	9
<b>TOTAL ÍTEMS</b>	<b>108</b>

En cuanto a beneficios, es el ámbito de la salud, en concreto el de la mejora de ciertos tratamientos, el que ocupa el primer lugar, seguido del de la electrónica. El tercer lugar lo ocupa el de los nuevos materiales que tienen propiedades especiales. Tras ellos están las ventajas que se obtienen, a nivel medioambiental, con el uso de determinadas aplicaciones como las que se han introducido en los paneles solares o en los filtros y en los catalizadores. En todo caso, de cara a la comunicación pública, sería conveniente que los beneficios sociales derivados de la nanociencia y la nanotecnología se ilustren de manera concreta, haciendo referencia a actividades u objetos próximos a los oyentes o lectores.

Una vez obtenida información sobre los beneficios que actualmente se han derivado de la nanotecnología, valoramos que todavía era más interesante hacer un ejercicio de prospectiva a corto plazo y les preguntamos a los investigadores por los beneficios en el plazo de diez años, desde una perspectiva lo más realista posible. Como se ha señalado, éste es un elemento fundamental en la formación de la actitud de la opinión pública, sobre todo para poder sopesar riesgo y beneficios.

En la cuestión sobre los beneficios futuros, se diseñó la pregunta para la segunda ronda a partir de las respuestas de la primera, considerando conveniente presentar un cuadro con ítems sin agrupar, para que el ámbito no influyera en el pronóstico. Del listado se solicitó a los participantes que valoraran el grado de probabilidad de su ocurrencia en una escala con cinco opciones (5: alta, 4: media-alta, 3: media, 2: media-baja y 1: baja) de que dichos logros se realizaran en un futuro cercano. Como se ha indicado, se fijó en diez años la realización de los pronósticos, ya que ir más allá suponía hacer previsiones que podían ser poco realistas. El resultado de las respuestas, de mayor a menor probabilidad estimada se recoge en la tabla siguiente (*tabla 16*).

**Tabla 16.** Valoración de la posibilidad de beneficios sociales

	Moda	Media	Desviación típica
LEDs de alto rendimiento	5	4,43	1,1
Dispositivos electrónicos todavía más pequeños, ligeros y eficientes	5	4,30	0,8
Sistemas fotovoltaicos de almacenamiento de energía de mayor capacidad, rendimiento y duración	4	4,25	0,7
Aumento de los textiles inteligentes	5	4,18	1,0
Aumento de la cantidad de materiales de construcción más resistentes	4	4,14	0,8
Aumento del diseño de materiales inteligentes para edificios	5	4,11	1,2
Agentes de contraste inteligentes	5	4,09	0,8
Acceso mediante nanopartículas a zonas específicas del tejido humano, incluso células individuales	5	3,97	1,0
Kits de diagnóstico rápido en salud que permitan asociar una terapia a un enfermo en función de la presencia de determinados biomarcadores en su información genética y la presencia de determinados biomarcadores en suero	4	3,94	1,1
Moléculas multifuncionales	5	3,92	1,3
Nanopartículas funcionalizadas para el tratamiento del cáncer	5	3,89	1,1
Nanosensores para prevención de intoxicaciones alimentarias	3	3,86	1,0
Tratamientos de enfermedades como el cáncer más eficaces y sin apenas efectos secundarios	4	3,57	0,9
Mejora de los tratamientos contra el alzheimer o la diabetes	3	3,50	1,1
Caracterización de las enfermedades por su componente genético lo que ayudará a un tratamiento mas adecuado	4	3,50	1,1
Materiales con mayor capacidad de autoreparación de tejidos, órganos y de biocompatibilidad	4	3,44	1,3
La producción de dispositivos de tamaño molecular	3	3,13	1,2
Ordenadores cuánticos	3	2,83	1,3
Biomateriales inteligentes en los que la interacción célula madre adulta-biomaterial dé lugar a una regeneración efectiva de órganos críticos	3	2,72	1,3
Órganos artificiales	2	2,56	1,2
Nano-bio-robots para usos biológicos	2	2,53	1,2

En los resultados se observa que los componentes nanoelectrónicos, los nuevos materiales y las aplicaciones energéticas tienen las previsiones más altas de materialización. En último lugar aparecen los nano-bio-robots, una innovación que surgió en la literatura en los primeros años de la nanotecnología. Los relacionados con la salud están especialmente presentes en la parte media de la tabla, lo cual puede significar mayores plazos para su consecución. Y en general se observa dos grupos de beneficios posibles. Prácticamente en la primera mitad de la tabla se concentran los que conciernen a aspectos no orgánicos, mientras que en la segunda los que han de interactuar con sistemas vivos, donde la complejidad es mayor.

Dado que el conocimiento de los riesgos es un aspecto importante en la comprensión pública de la ciencia y en la formación de actitudes, tras los beneficios se preguntó a los expertos por los posibles riesgos. Respecto de ello, nos interesaba conocer no sólo los riesgos previsibles que pudieran derivarse de la investigación y aplicaciones en nanotecnología, sino en general los riesgos asociados a la nanociencia y la nanotecnología. Es decir, tanto los que se derivan de sus aplicaciones como los que la pueden afectar. O dicho de otra manera: riesgos de la nanociencia y la nanotecnología y riesgos para la nanociencia y la nanotecnología. En esta pregunta, al igual que en las anteriores, pedíamos a los expertos, en la primera fase, que nombraran entre uno y tres riesgos; para después, en la segunda, que valoraran el grado de probabilidad de ocurrencia con la misma escala que en la pregunta anterior (5: alta, 4: media-alta, 3: media, 2: media-baja y 1: baja). El resultado, de mayor a menor probabilidad, se recoge en la siguiente tabla (*tabla 17*).

**Tabla 17.** Probabilidad de ocurrencia de riesgos en relación con la nanotecnología

	Moda	Media	Desviación típica
El hecho de generar expectativas que después no se cumplen	5	4,06	1,1
La existencia de regulaciones diferentes, según los países (que afecten por ejemplo a los derechos de los trabajadores, el medioambiente...)	5	3,69	1,2
La necesidad de una gran inversión económica o coste para su desarrollo	4	3,61	0,9
El desconocimiento del comportamiento de los nanosistemas y nanopartículas en interacción con sistemas vivos, productos, medioambiente, alimentos (envases, por ejemplo)	3	3,49	1,1
La aparición de efectos secundarios que no fueron detectados en las pruebas y controles realizados inicialmente	3	3,44	0,8
Las aplicaciones militares y usos terroristas	3	3,33	1,3
El desinterés por parte de las Administraciones	3	3,32	1,2
Hacer obsoletas algunas tecnologías y ramas de la producción, afectando a los trabajadores y empresas de estos sectores	4	3,31	1,2
La falta de regulación jurídica	3	3,30	1,0
No tener presente la toxicidad a lo largo del ciclo de vida del producto o material en cuestión o efectos nocivos a largo plazo	4	3,29	0,8
La dificultad de percibir los beneficios que comporta la nanociencia-nanotecnología debido a que no se materializa en objetos específicos donde ésta sea visible	3	3,28	1,2
Un exceso de precaución o prudencia puede restringir o limitar su desarrollo	4	3,22	1,2
La pérdida de la privacidad debido al empleo de nanodispositivos de identificación, de localización o de diagnóstico de enfermedades	3	3,19	1,2
La falta de control suficiente de calidad y seguridad de en el uso los materiales y de su efectos en los organismos	2	3,17	1,2
La toxicidad debida a la acumulación o concentración en los organismos o en determinados espacios (laboratorios, centros de trabajo) o por empleo masivo	3	3,06	1,0
La percepción u opinión pública negativa o un rechazo social	3	3,00	1,0
Crear que todo lo nano es bueno	2	2,83	1,3
El aumento de las desigualdades sociales y de la brecha tecnológica entre ricos y pobres	2	2,58	1,4
Volcar los esfuerzos de financiación exclusivamente en lo "nano"	3	2,43	1,0

En el resultado se observa una alternancia de lo que son riesgos para la nanociencia y la nanotecnología y riesgos derivados de la nanociencia y la nanotecnología. Aunque lo que ocupan las primeras posiciones son del primer grupo; los que pueden afectar al desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología, antes que sus efectos. No se considera que en el horizonte haya productos o elementos que por sí mismos puedan centrar la atención debido a una especial peligrosidad. Seguramente porque, por ejemplo, la toxicidad normalmente depende de factores diversos (cantidad, tamaño, composición, tiempo de exposición, etc.).

Los posibles efectos negativos empiezan por la toxicidad, en interacción con los organismos complejos biológicos y, por tanto, sus consecuencias tanto sobre la salud humana como sobre el medioambiente, continuando por los usos bélicos o terroristas. Tras ambos aparecen los que pueden afectar al sistema productivo, como es el caso del empleo; seguidos de los que pueden hacerlo sobre la privacidad y, por último, los que pueden incrementar las desigualdades sociales.

Respecto de las causas de los riesgos derivados de la nanociencia y la nanotecnología pueden deberse a varios motivos. En primer lugar, al estado actual del conocimiento, por hallarse en un estadio inicial y ser más incompleto que en otros campos. En segundo lugar, debido a determinados usos y aplicaciones, más o menos intencionales, que pudieran hacerse de sus desarrollos. En tercer lugar, a déficits actuales de regulación. Y en cuarto lugar, por consecuencias o efectos secundarios no previstos.

Finalmente, para el propósito de esta investigación, cabe destacar que el riesgo que más han destacado los expertos participantes remarca la idea de una comunicación pública proporcionada y realista de los beneficios que en el futuro puedan producirse de estos ámbitos de la ciencia y la tecnología. Y en relación con ello está la influencia que puede tener la percepción pública.

# Conclusiones

La ciencia y la tecnología ocupan un lugar preponderante en las sociedades contemporáneas. Sin embargo, los niveles de conocimiento e interés de la sociedad española son relativamente bajos. En el caso de la nanociencia y la nanotecnología este desconocimiento se acentúa de manera especial. En la llamada "sociedad del conocimiento" es importante que los individuos comprendan aspectos básicos de la ciencia y la tecnología, así como de su funcionamiento.

Las causas que dificultan la comunicación y comprensión pública de la nanociencia y la tecnología son diversas. Unas son comunes a la ciencia y la tecnología en general; otras están más relacionadas con aspectos propios de cada campo. Finalmente, otras son circunstanciales o coyunturales, como las que se deben a la condición emergente de algunos campos científicos o tecnológicos

Entre las dificultades que plantea la comunicación pública de la nanociencia y la nanotecnología está la producción de una información asequible a los diferentes públicos. De manera global esto se relaciona con la ausencia de un conjunto de información estructurada de cara a su comunicación pública. La amplitud y la heterogeneidad de la nanociencia y la nanotecnología son uno de los factores que dificulta esa estructuración, como también lo es el hecho de que la actividad propia a la que se dedican profesionalmente los investigadores en dicho ámbito no es, salvo excepciones, la comunicación pública sobre ambas. Finalmente, está también la incertidumbre que se deriva de que hay cuestiones que tienen que ver con lo que el futuro acontezca en nanociencia y nanotecnología.

Los expertos de un ámbito pueden desempeñar un papel fundamental aportando sus conocimientos, juicios y estimaciones para paliar la situación de incertidumbre producida por la falta de información cuando un conocimiento no está estructurado y disponible en un

momento dado. Los expertos pueden, por ejemplo, ejercer las funciones de asesoramiento, respecto de la comprensión conceptual de contenidos básicos de la nanociencia y la nanotecnología, y la de prospectiva, respecto de la información concerniente a los riesgos y los beneficios que se puedan derivar con su desarrollo.

En general, la comunicación y comprensión pública de la ciencia y la tecnología se ve favorecida si existe un núcleo identificado de contenidos básicos, y de entre ellos se perfilan aquellos que pueden ser de más difícil comprensión, además de los que pueden ser más fácilmente malinterpretados.

Con tal fin, y resultado de la consulta a los expertos, se ha obtenido un listado ordenado de contenidos básicos. Consideramos que ese orden no debe ser tomado como algo preceptivo, pero sí es orientativo de cara a las actividades de comunicación pública de la nanociencia y la nanotecnología, y en la introducción de esta entre el público. Entre las cuestiones que, después del resultado obtenido, pueden servir de introducción, destacan en primer lugar los aspectos de índole más práctico y los vinculados con lo más próximo y lo más cotidiano para el público, seguidos, a continuación de sus beneficios actuales y futuros. Tras ambas cuestiones aparece el tema de la escala, dimensión o tamaño "nano" y, después, los objetivos e importancia de la nanociencia y la nanotecnología. En consonancia con el resultado, entendemos que el hecho de situar en un inicio aquello que es más próximo, conocido o cercano al público, así como de los posibles beneficios de la nanociencia y la nanotecnología es una manera de captar el interés y la atención del público.

De entre las diversas cuestiones básicas sobre nanociencia y nanotecnología señaladas por los participantes que pueden presentar mayor nivel de dificultad para ser comprendidas por el público, han destacado las cuatro siguientes: (1) las razones de por qué en la nanoescala cambian las propiedades de ciertos materiales y se comportan de manera distinta a como lo hacen a otras escalas mayores; (2) la modulación de las propiedades de los nanomateriales; (3) cómo se manipula la material a escala nanométrica y cómo se consigue que los materiales tengan determinadas propiedades; y (4) los equipamientos y el instrumental para estudiar y manipular en la nanoescala y su funcionamiento.

No son esas las cuestiones que pueden presentar mayores dificultades de comprensión. Comprender la "spintrónica" o el "autoensamblado molecular", estarían por delante de las anteriores. Pero entendemos que, de cara a la divulgación, son cuestiones que pueden quedar por detrás de las anteriores.

Se ha de tener presente que la dificultad de comprensión de los conceptos científicos y técnicos no se debe sólo al desconocimiento o su nivel de complejidad y abstracción, sino también a las preconcepciones que el público pueda tener. Estas pueden fácilmente ejercer una interferencia semántica que distorsione la comprensión. Los expertos han considerado que la mala interpretación puede ocurrir más fácilmente en los siguientes casos: (1) con respecto a los aspectos toxicológicos, por la reacción emocional que suscita hablar de estas cuestiones o oír los términos que hablan de ellos; (2) con términos o conceptos que ya tienen asociadas connotaciones negativas, muchas veces por establecerse una vinculación con otras tecnologías sobre las que ya existe una actitud de desconfianza o rechazo; y (3) con los numerosos conceptos técnicos que están formados por una palabra cotidiana que lleva antepuesto el prefijo "nano".

Desde nuestro punto de vista, la dificultad o la proclividad de determinados términos y conceptos científicos a ser malinterpretados no es motivo para omitir su uso en las actividades de enseñanza o divulgación, sino una señal de aviso para no dar por sentado que su comprensión sea adecuada sin más, y hacer más énfasis en su explicación, dada la posibilidad de asociaciones erróneas o distorsionadas.

La percepción de los riesgos y beneficios es un factor importante en las actitudes ante determinadas tecnologías. Según los expertos consultados, en lo que respecta a los beneficios actuales, el ámbito de la salud, en concreto el de la mejora de ciertos tratamientos es el que ocupa el primer lugar, seguido de la electrónica. El tercer lugar lo ocupan los nuevos materiales con propiedades especiales. Y tras ellos están las ventajas que se obtienen, a nivel medioambiental, por el uso de determinadas aplicaciones como las que se han introducido en los paneles solares o los filtros y los catalizadores.

Sobre los beneficios futuros, los participantes han identificado los componentes nanoelectrónicos, los nuevos materiales y las aplicaciones energéticas como aquellos que tienen las previsiones más altas de materialización en el breve plazo. En último lugar se señalan los nano-bio-robots, una innovación que surgió en la literatura en los primeros años de la nanotecnología. Entre medias están los logros que conciernen al campo de la salud y los tratamientos, cuya materialización implica mayores plazos de tiempo que los primeros.

Del resultado sobre los beneficios posibles, se observa dos grupos. Los más previsibles o cercanos en el tiempo conciernen a aspectos no orgánicos, mientras que aquellos que implican la interacción con o en sistemas vivos se ven más lejanos o improbables en el corto plazo.

En lo que respecta a los riesgos que se puedan derivar de la nanociencia y la nanotecnología, los expertos no consideran probable que en el horizonte temporal a corto plazo haya productos o elementos que por sí mismos puedan revestir una especial peligrosidad. De mayor a menor probabilidad, los posibles aspectos negativos identificados empiezan por la toxicidad, en interacción con los organismos complejos biológicos y, por tanto, sus efectos tanto sobre la salud humana como sobre el medioambiente, continuando por los usos bélicos o terroristas. Tras ambos se señalan los que pueden afectar al sistema productivo, como es el caso del empleo; que vienen seguidos de los que pueden hacerlo sobre la privacidad. Finalmente, están los que pueden producir un incremento las desigualdades sociales, que son vistos como los menos probables de producirse en un escenario cercano.

En cuanto a las causas de los riesgos derivados de la nanociencia y la nanotecnología, según lo indicado por los expertos, estos pueden deberse a varios motivos. En primer lugar, al grado de conocimiento actualmente disponible. En segundo lugar, a determinados usos y aplicaciones, más o menos intencionales, que pudieran hacerse de sus desarrollos. En tercer lugar, a un déficit actual de regulación. Y, en cuarto lugar, debido a consecuencias o efectos secundarios no previstos.

En relación al objetivo del estudio, cabe destacar, por último, que un riesgo para la nanociencia y la nanotecnología que han destacado los

expertos viene a reforzar la necesidad de una comunicación pública proporcionada y realista de los beneficios y perjuicios que en el futuro puedan derivarse de aquellas. Y lo es en la medida en que la información proporcionada tendrá incidencia en la percepción que la opinión pública tenga al respecto.

Finalmente, son varias las cuestiones que han quedado fuera de este estudio, no tanto por su falta de importancia como por no ser objeto suyo, además de otras que requieren de una mayor profundización o de implementación. Entre ellas están: (1) La necesidad de seguir profundizando en el conocimiento de los procesos y mecanismos de percepción y comprensión pública de la ciencia. (2) La concreción de esos conocimientos en formas y estrategias comunicación pública. (3) La continuidad en la actualización, selección y organización de contenidos y mensajes, y, en relación con ello, la elección de medios y formatos adecuados. (4) La necesidad de generar dinámicas comunicativas en las que el público sea cada vez más agente partícipe e involucrado. Y (5) la colaboración en las actividades y tareas de divulgación y enseñanza de distintos profesionales (científicos, ingenieros, científicos sociales, educadores, periodistas y especialistas en nuevas tecnologías de la comunicación, entre otros).

# Referencias bibliográficas

ANDERSON, A. S., PETERSEN, A. & WILKINSON, C. (2005). "The Framing of Nanotechnologies in the British Newspaper Press". *Science Communication*, 27(2): 200–220.

AZKARATE, G. (dir.) (2008). *Aplicaciones Industriales de las Nanotecnologías en España en el Horizonte 2020. Estudio de Prospectiva*, Madrid: Fundación OPTI.

BAINBRIDGE, W. S. (2002). "Public attitudes towards nanotechnology", *Journal of Nanoparticle Research*, 4(6):561–570.

BAINBRIDGE, W. S. (2004). Sociocultural meanings of nanotechnology: Research methodologies. *Journal of Nanoparticle Research*, 6, 285 – 299.

BAUER, M. W. y HOWARD, S. (2013). *The Culture of Science in Modern Spain: An Analysis of Public Attitudes Across Time, Age Cohorts and Regions*. Madrid: Fundación BBVA.

BESLEY, J., & NISBET, M. (2013). How scientists view the public, the media and the political process *Public Understanding of Science*, 22(6): 644-659.

BECK, U. (1986). *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Barcelona: Paidós.

BONAZZI, M. (2010). *Communicating nanotechnology. Why, to whom, saying what and how? An action-packed roadmap towards a brand new dialogue*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

BROSSARD, D. & NISBET, M. C. (2006). "Deference to scientific authority among a low information public: understanding U.S. opinion on agricultural biotechnology", *International Journal of Public Opinion Research* 19(1): 24-52.

BROSSARD, D., SHEUFELE, D. A., KIM, E. & LEWENSTEIN, B. V. (2009). "Religiosity as a perceptual filter: examining processes of opinion formation about nanotechnology". *Public Understanding of Science*, 18(5):546-558.

BROSSARD D. y Scheufele, D. A. (2013). "Science, New Media, and the Public", *Science*, 339:40.

CAMPANARIO, J. M. (2003). De la necesidad, virtud: cómo aprovechar los errores y las imprecisiones de los libros de texto para enseñar física. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), pp. 161-172.

CACCIATORE, M. A., SCHEUFELE, D. A., & CORLEY, E. A. (2011). "From enabling technology to applications: The evolution of risk perceptions about". *Public Understanding of Science* 20(3):385–404.

CASTELLINI, O. M., WALEJKO, G. K., HOLLADAY, C. E., THEIM, T. J., ZENNER G. M. & CRONE, W. C. (2007). "Nanotechnology and the public: Effectively communicating nanoscale science and engineering concepts". *Journal of Nanoparticle Research*, 9:183-189.

COBB, M. D. (2005). "Framing effects on public opinion about nanotechnology". *Science Communication*, 27(2):221–239.

COBB, M. D. & MACOUBRIE, J. (2004). "Public perceptions about nanotechnology: Risks, benefits, and trust". *Journal of Nanoparticle Research*, 6(4):395–405.

COMISIÓN EUROPEA (2001). *Eurobarometer 55.2: Europeans, Science and Technology. Eurobarometer Special Survey 154*. Bruselas: Directorate General Press and Communication.

COMISIÓN EUROPEA (2010a). *Eurobarometer 73.1: Biotechnology. Special Eurobarometer 341*. Bruselas: Directorate General Press and Communication.

COMISIÓN EUROPEA (2010b). *Knowledge, Attitudes and Opinions on Nanotechnology across European Youth Analysis from a specific survey carried out in 25 EU countries*, Bruselas: Directorate-General for Research Nanosciences, nanotechnologies, materials and new production technologies. [http://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/pdf/knowledge-attitude-opinions-on-nanotech\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/knowledge-attitude-opinions-on-nanotech_en.pdf)

CORLEY, E. A. & SHEUFELE, D. A. (2010). "Outreach gone wrong? When we talk nano to the public, we are leaving behind key audiences". *The Scientist*, 24:22., Number 1.

COOK, A. J. & FAIRWEATHER, J. R. (2007). "Intentions of New Zealanders to purchase lamb or beef made using nanotechnology". *British Food Journal*, 109(9), 675-688.

CRICHTON, M. (2002). *Prey*, New York: Harper Collins.

CURRALL, S. C. (2009). "Nanotechnology and society. New insights into public perceptions". *Nature nanotechnology*, 4:79-80.

DOUBLEDAY, R. (2007). "Risk, public engagement and reflexivity: Alternative framings of the public dimensions of nanotechnology". *Health, Risk & Society*, 9(2): 211-227.

DRUCKMAN, J. N. & BOLSEN, T. (2011). "Framing, Motivated Reasoning, and Opinions About Emergent Technologies". *Journal of Communication*, 61:659-688.

EINSIEDEL, E. F. & GOLDENBERG, L. (2004). "Dwarfing the social? Nanotechnology lessons from the biotechnology front". *Bulletin of Science, Technology & Society*, 24(1):28-33.

EINSIEDEL, E. F. (2005). "In the public eye: the early landscape of nanotechnology among Canadian and US publics". *Azonano* 1, 1–10.

FAYARD, P. (1988). *La communication scientifique publique, de la vulgarisation à la médiatisation*, Lyon: La Chronique Sociale.

FECYT (2012). *VI Encuesta de Percepción Social de la Ciencia 2012*. Madrid: FECYT. ([www.fecyt.es/fecyt/docs/tmp/363174605.pdf](http://www.fecyt.es/fecyt/docs/tmp/363174605.pdf))

FISCHHOFF, B. y SHEUFELE, D. A. (2013). "The science of science communication". *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110(Supplement\_3): 14031-14032. [http://www.pnas.org/content/110/Supplement\\_3/14031.short](http://www.pnas.org/content/110/Supplement_3/14031.short)

FRIEDMAN, S. M. & EGOLF, B. P. (2005). "Nanotechnology: Risks and the Media". *IEEE Technology and Society Magazine* 24: 5–11.

FUNDACIÓN BBVA (2012). *Estudio Internacional de Cultura Científica*. Fundación BBVA, [http://www.fbbva.es/TLFU/dat/Cultura\\_cientifica\\_-\\_Nota\\_larga\\_-\\_07-05\\_2\\_FINAL.pdf](http://www.fbbva.es/TLFU/dat/Cultura_cientifica_-_Nota_larga_-_07-05_2_FINAL.pdf)

FUNTOWICZ, S. O. & RAVETZ, J. R. (1993/2000). *La ciencia posnormal: Ciencia con la gente*. Barcelona: Icaria.

GÓMEZ FERRI, J. (2012). "La comprensión pública de la nanotecnología en España". *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 7(20): 177-207. <http://www.revistacts.net/files/Volumen%207%20-%20N%C3%BAmero%2020/gomezferriCORREGIDOFINAL.pdf>

GROBOLJSEK, B. y MALI, F. (2012). "Daily Newspapers' Views on Nanotechnology in Slovenia". *Science Communication*, 34(1): 30-56.

GUSTON, D. H. & KENISTON, K. (1994). "Introduction: The Social Contract for Science". En D. H. Guston y K. Keniston (eds.), *The Fragile Contract. University Science and the Federal Government*. Cambridge, MA: The MIT Press.

HAYHURST, R., HECKL, W. M., MAGLIO, G., TÜRK, V. & BENNETT, D. (2005). "Talking Nano- What Makes Nanotechnology Special". En M. Claessens (ed.), *Communicating European Research 2005*, 227–232.

HOUSE OF LORDS (2000). *Science and Technology– Third Report. Report of the Science and Technology Committee. Paper 38*. London: H.M. Stationery Office. <http://www.publications.parliament.uk/pa/ld199900/ldselect/ldsctech/38/3801.htm>

KAHAN, D. M., BRAMAN, D., SLOVIC, P., GASTIL, J. & COHEN, G. (2009). "Cultural Cognition of the Risks and Benefits of Nanotechnology," *Nature Nanotechnology* 4(2): 87–90.

KÖRBES, C. y INVERNIZZI, N. (2010). "Tecnología e a difusão da ideia de progresso da ciência". VIII Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y Tecnología, Buenos Aires. <http://www.esocite2010.escyt.org>

HO, S. H., SCHEUFELE, D. A. & CORLEY, E. A. (2011). "Value Predispositions, Mass Media, and Attitudes Toward Nanotechnology: The Interplay of Public and Experts". *Science Communication*, 33(2):167–200.

INVERNIZZI, N. (2008). "Visões de futuro: nanociência e nanotecnologia no Jornal da Ciência", VII Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y Tecnología: Rio de Janeiro, Brasil. <http://www.necso.ufri.br/esocite2008/resumos/35807.htm>

KURATH, M. & GISLER, P. (2009). "Informing, involving or engaging? Science communication, in the ages of atom-bio- and nanotechnology". *Public Understanding of Science*, 18 (5): 559–573.

LANDETA, J. (1999): *El método Delphi*, Barcelona: Ariel.

LEWENSTEIN, B. V., GORSS y RADIN, J. (2005). "The Saliency of Small: Nanotechnology Coverage in the American Press 1986-2004". Paper presented at the International Communication Association, 26-30 May 2005, New York, <https://ecommons.library.cornell.edu/bitstream/1813/14275/2/LewensteinGorssRadin.2005.NanoMedia.ICA.pdf>

LEE, C. J., & SCHEUFELE, D. A. (2006). "The influence of knowledge and deference toward scientific authority: A media effects model for public attitudes toward nanotechnology". *Journalism & Mass Communication Quarterly*, 83(4), 819-834.

LEÓN, B. (1999). *El documental de divulgación científica*. Barcelona: Paidós.

MEHTA, M. D. (2004). "From Biotechnology to Nanotechnology: What Can We Learn From Earlier Technologies?" *Bulletin of Science, Technology & Society*, 24(1):34-39.

MILLER, J. D. (1983). "Scientific Literacy: A Conceptual and Empirical Review". *Daedalus*, 112: 29–48.

MILLS, K. y FLEDDERMANN, C. (2005). "Getting the Best from Nanotechnology: Approaching Social and Ethical Implications Openly and Proactively". *IEEE Technology and Society Magazine* 24(4):18-26.

MORENO-CASTRO, C. (2009). "Los medios, el público y la ciencia. Una relación que no progresa adecuadamente". En FECYT, *Percepción social de la ciencia y la tecnología en España 2008*. Madrid: FECYT, pp.21-38.

NOVO, M. y BORGES, E. L. (2010). "Nanotecnologia e as constituições de gênero", VIII Congresso Iberoamericano de Ciência, Tecnologia e Gênero: Curitiba, Brasil. [http://files.dirppg.ct.utfpr.edu.br/ppgte/eventos/cictg/conteudo\\_cd/E11\\_Nanotecnologia](http://files.dirppg.ct.utfpr.edu.br/ppgte/eventos/cictg/conteudo_cd/E11_Nanotecnologia)

NYSED (2004). *New York State standards for math, science and technology*. NYS Education Department.

OEI (Organización de Estados Iberoamericanos) (2009). *La nanotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias*. [www.oei.es/salactsi/nano.pdf](http://www.oei.es/salactsi/nano.pdf)

PARDO, R. (2001). "La cultura científico-tecnológica de las sociedades de modernidad tardía". En AAVV, *Estructura y cambio social*, Madrid, CIS, pp. 1077-1107.

PETERSEN, A., ANDERSON, A., ALLAN, S. & WILKINSON, C. (2009). "Opening the black box: scientists' views on the role of the news media in the nanotechnology debate". *Public Understanding of Science*, 18 (5): 512–530.

PHILLIPS, L. (2012). "Armed resistance". *Nature*, nº 488, 30 Agosto, pp. 576-579.

PIDGEON, N.; HARTHORN, B. y SATTERFIELD, T. (2011). "Nanotechnology Risk Perceptions and Communication: Emerging Technologies, Emerging Challenges". *Risk Analysis*, 31(11): 1694-1700.

PRIEST, S. H. (2012): *Nanotechnology and the Public: Risk Perception and Risk Communication*, London, CRC Press, Taylor & Francis Group.

REVUELTA, G. (2010). *DG Research Monitoring Policy and Research Activities on Science in Society in Europe (MASIS) National Report, SPAIN*. October 2010. [http://ec.europa.eu/research/science-society/document\\_library/pdf\\_06/monitoring-policy-research-activities-on-sis\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/monitoring-policy-research-activities-on-sis_en.pdf)

ROCO, M.C. & BAINBRIDGE, W. S., (eds). (2001). *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands.

RS/RAE (ROYAL SOCIETY/ROYAL ACADEMIC OF ENGINEERING) (2004). *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*. London: The Royal Society. <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>

SÁNCHEZ-MORA, M.C. & TAGÜEÑA, J. (2011). "El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia" *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 4 (2):83-102.

SATTERFIELD, T., KANDLIKAR, M., BEAUDRIE, C.E.H., CONTI, J. & HARTHORN, B. H. (2009). "Anticipating the perceived risk of nanotechnologies". *Nature Nanotechnology*, 4:752-758.

SCHEUFELE, D. A. (2013). "Communicating science in social settings". *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110 (Supplement\_3):14033-14039. [http://www.pnas.org/content/110/Supplement\\_3/14040](http://www.pnas.org/content/110/Supplement_3/14040)

SCHEUFELE, D. A. & LEWENSTEIN, B. V. (2005). "The public and nanotechnology: how citizens make sense of emerging technologies". *Journal of Nanoparticle Research*, 7:659–657.

SCHEUFELE, D. A., CORLEY, E. A., DUNWOODY, S., SHIH, T. J., HILLBACK, E. & GUSTON, D. H. (2007). "Scientists Worry about Some Risks More than the Public". *Nature Nanotechnology*, 2(12):732–734.

SELIN C. (2007). "Expectations and the emergence of nanotechnology". *Science, Technology, & Human Values*, 32(2):196–220.

SERENA, P. A. & TUTOR, J. D. (2011). "La divulgación y la formación de la nanociencia y la nanotecnología en España: un largo camino por delante". *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 4(2):48-58.

SIEGRIST, M., COUSIN, M-E., KASTENHOLZ, H. & WIEK, A. (2007a). "Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: The influence of affect and trust". *Appetite*, 49(2):459–466.

SIEGRIST, M., KELLER, C., KASTENHOLZ, H., FREY, S. & WIEK, A. (2007b) "Laypeople's and Experts' Perception of Nanotechnology Hazards". *Risk Analysis* 27(1):59–69.

SIMONS, J., ZIMMER, R., VIERBOOM, C., HÄRLEN, I., HERTEL, R., & BÖL, G. F. (2009). "The slings and arrows of communication on nanotechnology". *Journal of Nanoparticle Research* 11:1555–1571.

STURGIS, P. & ALLUM, N. (2004). "Science in Society: Re-evaluating the Deficit Model of Public Attitudes". *Public Understanding of Science* 13(1): 55–74.

TORRES, C., FERNÁNDEZ-ESQUINAS, M., REY-ROCHA, J. & MARTÍN-SEMPERE, M. J. (2011). "Dissemination practices in the Spanish research system: scientists trapped in a golden cage". *Public Understanding of Science*, 20(1):12–25.

VANDERMOERE, F., BLANCHEMANCHE, S., BIEBERSTEIN, A., MARETTE, S. & ROOSEN, J. (2011). "The public understanding of nanotechnology in the food domain: The hidden role of views on science, technology, and nature". *Public Understanding of Science*, 20(2):195–206.

VELTRI, G. A. (2013). "Viva la Nano-Revolución! A Semantic Analysis of the Spanish National Press", *Science Communication*, vol. 35 nº. 2, pp. 143-167.

WALDRON, A., SPENCER, D. & BATT, C. (2006). "The current state of public understanding of nanotechnology". *Journal of Nanoparticle Research*, 8 (5):569-575.

WILKINSON, C., ALLAN, S., ANDERSON, A. & PETERSEN, A. (2007). "From uncertainty to risk?: Scientific and news media portrayals of nanoparticle safety". *Health, Risk & Society*, 9(2):145–157.

WYNNE, B. (1992). "Misunderstood misunderstanding: Social identities and public uptake of science". *Public Understanding of Science* 1(3): 281 – 304.

ZIMMER, R., HERTEL, R. & BÖL, G. F., (eds.) (2010). *BfR Delphi Study on Nanotechnology Expert Survey of the Use of Nanomaterials in Food and Consumer Products*, Berlin: Federal Institute for Risk Assessment. [http://www.bfr.bund.de/cm/350/bfr\\_delphi\\_study\\_on\\_nanotechnology.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/350/bfr_delphi_study_on_nanotechnology.pdf),

# Anexo

## Listado de participantes en el panel de expertos

**Ernesto Brunet Romero (Universidad Autónoma de Madrid)**

**Fernando Calle Gómez (Universidad Politécnica de Madrid)**

**Fèlix Casanova i Fernàndez (CIC nanoGUNE)**

**Carmen Chacón Tomé (Fundación Phantoms)**

**Ana Isabel Cremades Rodríguez (Universidad Complutense de Madrid)**

**Cristina Crespo (Instituto Tecnológico de Aragón)**

**M<sup>a</sup> Teresa Cuberes Montserrat (Universidad de Castilla-La Mancha)**

**Víctor Manuel de la Prida Pidal (Universidad de Oviedo)**

**Marta Elena Díaz García (Universidad de Oviedo)**

**Jordi Díaz Marcos (Universitat de Barcelona)**

**Ángel Díaz Ortiz (Universidad de Castilla-La Mancha)**

**Neus Domingo Marimon (Centre d'Investigació en Nanociència i Nanotecnologia, CIN2)**

**Ramon Eritja (CSIC- Instituto de Investigación Biomédica, IRB Barcelona)**

**Daniel Fernández Mosquera (Nanogap Subnm Powders, S.A)**

**José M. González Calbet (Universidad Complutense de Madrid)**

**Jesús M<sup>a</sup> González Fernández (CSIC, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, ICMM)**

**Fernando Herranz Rabanal (Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares, CNIC)**

**M<sup>a</sup> Angeles Holgado Villafuerte (Universidad de Sevilla)**

**Ricardo Mallavia Marín (Universidad Miguel Hernández)**

**Pilar Marín Palacios (Universidad Complutense de Madrid)**

**Arturo Martínez Arias (CSIC, Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, ICP)**

**Sara Mas (Universidad Politécnica de Valencia)**

**Guillermo Muñoz Matutano (Universitat de València)**

**Fernando Palacio Parada (CSIC, Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón)**

**Maria Paulis (Universidad del País Vasco / EHU)**

**José M. Pitarke (CIC nanoGUNE)**

**Daniel Puerto García (Universidad Politécnica de Valencia)**

**Rafael Rodríguez Trías (AIN, Asociación de la Industria Navarra)**

**Juan Rubio Alonso (Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC)**

**José Javier Sáiz Garitaonandia (Universidad del País Vasco / EHU)**

**David Sánchez Martín (Universitat de les Illes Balears)**

**Pedro Amalio Serena Domingo (CSIC, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, ICMM)**

**Miguel Ángel Sogorb Sánchez (Universidad Miguel Hernández)**

**Elena Taboada Cabellos (Universidad Politécnica de Cataluña)**

**Ángel Valero Navarro (nanoMyP - Nanomateriales y Polímeros SL)**

**José Luis Vilas Vilela (Universidad del País Vasco/ EHU)**

**Lorena Welte Hidalgo (AITEMIN)**

**Enrique Zarate Larrinaga (CIC nanoGUNE)**