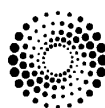


BIOÉTICA Y NANOTECNOLOGÍA

BIOÉTICA Y NANOTECNOLOGÍA

Coordinadora
MARÍA CASADO

CIVITAS



THOMSON REUTERS

Primera edición, 2010



El editor no se hace responsable de las opiniones recogidas, comentarios y manifestaciones vertidas por los autores. La presente obra recoge exclusivamente la opinión de su autor como manifestación de su derecho de libertad de expresión.

Reservados todos los derechos. El contenido de esta publicación no puede ser reproducido, ni en todo ni en parte, ni transmitido, ni registrado por ningún sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sin el permiso previo, por escrito, de Editorial Aranzadi, SA.

Thomson Reuters y el logotipo de Thomson Reuters son marcas de Thomson Reuters

Civitas es una marca de Thomson Reuters (Legal) Limited

© 2010 [Thomson Reuters (Legal) Limited / María Casado y otros]

Editorial Aranzadi, SA
Camino de Galar, 15
31190 Cizur Menor (Navarra)

Imprime: Rodona Industria Gráfica, SL
Polígono Agustinos, Calle A, Nave D-11
31013 - Pamplona

Depósito Legal: NA 2564/2010

ISBN 978-84-470-3509-0

Printed in Spain. Impreso en España

Sumario

	<u>Página</u>
INTRODUCCIÓN	11
SECCIÓN I	
UNA CUESTIÓN PREVIA: ¿QUÉ SON LAS «NANO»?	
CAPÍTULO 1	
«NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA»	
<i>Ana Isabel Cremades y David Maestre</i>	21
SECCIÓN II	
SOBRE EL CONCEPTO DE NANOÉTICA	
CAPÍTULO 2	
«¿NECESITAMOS UNA NANOÉTICA? (LA NANOÉTICA COMO DISCIPLINA ESPECÍFICA)»	
<i>Ricardo García Manrique</i>	37
CAPÍTULO 3	
«AFILANDO LA NAVAJA DE OCKHAM»	
<i>Albert Royes</i>	53
SECCIÓN III	
SOBRE LOS ASPECTOS ÉTICO-JURÍDICOS Y SOCIALES	
CAPÍTULO 4	
«NANODIÁLOGO: LA COMUNICACIÓN Y LA IMPLICACIÓN PÚBLICA EN LOS AVANCES NANOBIOTECNOLÓGICOS»	
<i>Maria Jesús Buxó i Rey</i>	63

CAPÍTULO 5

«TECNOLOGÍAS CONVERGENTES Y DEMOCRATIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO»

José Manuel Rodríguez Victoriano 77

CAPÍTULO 6

«NANOTECNOLOGÍAS: OPINIONES DIVERSAS Y PARTICIPACIÓN SOCIAL»

Graciela Sarrible Pedroni 103

CAPÍTULO 7

«NANOTECNOLOGÍA: ELEMENTOS DE CONEXIÓN CON EL ORDENAMIENTO JURÍDICO INTERNACIONAL»

Anna M. Badia Martí 113

CAPÍTULO 8

«PRINCIPIOS DE PRECAUCIÓN Y GESTIÓN DEL RIESGO EN EL CONTEXTO DE LA NANOTECNOLOGÍA»

María Casado y Mirentxu Corcoy 127

CAPÍTULO 9

«NANOTEC: MEGAGANANCIAS Y GIGARRIESGOS»

Manuel Garí Ramos 149

SECCIÓN IV

SOBRE LAS APLICACIONES NANOTECNOLÓGICAS

CAPÍTULO 10

«CONFLICTOS ÉTICOS VINCULADOS A LA NANOMEDICINA»

Mariela Mautone 167

CAPÍTULO 11

«ANIMALES Y NANOTECNOLOGÍA: ALGUNAS IMPLICACIONES BIOÉTICAS»

Fabiola Leyton 179

CAPÍTULO 12

«**SOBRE LA TOXICIDAD DE LAS NANOPARTÍCULAS EN EL
ÁMBITO DE LA NANOMEDICINA**»

Lydia Buisan Espeleta 193

CAPÍTULO 13

«**NANOTECNOLOGÍAS Y ALIMENTACIÓN HUMANA: IMPLICA-
CIONES BIOÉTICAS**»

Itziar de Lecuona 207

CAPÍTULO 14

«**NANOTECNOLOGÍAS: SEGURIDAD Y SALUD LABORAL**»

Ruth Jiménez Saavedra 235

CAPÍTULO 15

«**LA VIDA EN UNA NANOCASA. EFECTOS SOCIOAMBIENTALES
DE LAS NANOTECNOLOGÍAS**»

José Manuel de Cózar Escalante 255

GLOSARIO 271

Andrea Moreno

NOTA SOBRE LOS AUTORES 279

El libro que aquí se presenta forma parte de los resultados obtenidos en el seno del Proyecto de Investigación «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías» (Ref: SEJ2007-61210) financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Nuestro trabajo se ha venido desplegando a lo largo de estos tres últimos años y conviene destacar que, en este tiempo, el desarrollo de la nanotecnología se ha convertido en un auténtico *boom* que ha desbordado los planteamientos iniciales, en especial por la gran cantidad de publicaciones y materiales de todo tipo que se han ido generando. Es de señalar, además, que en el seno de los Programas Marco VI y VII de la Unión Europea existe un área propia para la nanotecnología y un apartado, con financiación específica, denominado «nanoética».

La nanotecnología¹ es un conocimiento interdisciplinario que establece enlaces entre ámbitos de conocimiento tradicionalmente separados –como física, química y biología– y que tiene un impacto sobre la vida de las personas y el medio. Importa, por lo tanto, averiguar qué hace y qué puede hacer para el bienestar de la sociedad. Más allá de las características de la materia y de la escala, el discurso de la nanociencia se construye sobre la idea del beneficio público. Son varias las razones que se esgrimen: en primer lugar, la amplitud del enfoque de investigación, que implica excelencia científica y competitividad industrial en amplias áreas de la investigación; en segundo lugar, el potencial de las nanotecnologías para amplificar las técnicas de diagnóstico y los tratamientos médicos; y, en tercer lugar, la dinamización de una economía favorable a la innovación empresarial capaz de atraer la inversión de los gobiernos y la empresa privada. Se trata de una nueva área de investigación y desarrollo cuyo objetivo es el control del comportamiento y la estructura fundamental de la materia a una escala nanométrica en la que varían las propiedades físicas, químicas y biológicas de los materiales. Las nanocien-

1. Véase la voz «nanotecnología» en la *Enciclopedia de Bioética y Bioderecho*, C. ROMEO CASABONA Coord., ed. de la Cátedra Derecho y Genoma, 2010, en prensa.

cias y nanotecnologías manipulan materiales químicos, magnéticos y orgánicos para producir reacciones biocompatibles en organismos vivos y dan lugar a múltiples aplicaciones en ámbitos diversos y constituyen un nuevo reto ya que la identificación y la definición de los riesgos y los problemas derivados no es tarea fácil. Se trata de un campo que está en sus inicios y por ello no hay aún una lista de riesgos que permita identificar claramente cuáles van a ser los problemas. No obstante, existe coincidencia en constatar que no cabe esperar a que la nanotecnología se vaya desarrollando y vaya produciendo impactos, para extraer conclusiones y establecer directrices.

El estudio de las implicaciones bioéticas de cada descubrimiento y sus aplicaciones constituye una exigencia fundamental para la toma de decisiones democráticas, especialmente en los ámbitos que afectan a toda la sociedad. Conviene resaltar que, en el caso de la nanociencia y la nanotecnología, esto implica un esfuerzo adicional para la comprensión de una realidad invisible que permite la producción de materiales que conllevan un cambio de escala en las formas de vida cuyo impacto y aceptabilidad públicas no tiene referentes previos. Ello no obstante, deben ser analizadas y debatidas con atención y, además, reguladas adecuadamente buscando conjugar el desarrollo tecnocientífico y la defensa de los derechos de la ciudadanía.

Desde estos planteamientos, en los distintos capítulos de este libro, se identifican y definen algunos de los problemas nanoéticos con la finalidad de conseguir desarrollar de forma segura y responsable la investigación en nanociencia y sus aplicaciones nanotecnológicas, de prevenir los riesgos y de evitar las alarmas sociales derivadas de la falta de información en las líneas de investigación aplicada. Interesa, pues, clarificar los términos del debate y de hacer aflorar los valores en juego. Para ello, a lo largo de la obra los diversos autores analizan las condiciones de riesgo para la salud, la integridad, la seguridad o el impacto medioambiental de las nanotecnologías, en el propio proceso investigador y en sus potenciales aplicaciones, efectuado una prospectiva social que tiene en cuenta las repercusiones que puedan producirse en los Derechos Fundamentales implicados. Se trata de un enfoque interdisciplinario, que se beneficia del trabajo conjunto y la puesta en común de los distintos enfoques, para detectar y cartografiar áreas problemáticas respecto a la salud, el medio ambiente, la equidad, el riesgo y la seguridad.

La complejidad de la nanotecnología, en sus diversas áreas de aplicación, hace que la identificación y la definición de los riesgos y los problemas sociales no sea tarea fácil. Esta incertidumbre o, si se quiere, los riesgos even-

tuales, no permiten todavía hablar de problemas y medidas concretas, respecto al impacto de las nanopartículas en la salud humana, la acumulación preferencial en ciertos órganos, los umbrales de absorción por el cuerpo humano, los efectos sobre la estructura de la célula, la función y la interacción, la toxicidad y la eliminación de respuestas inmunológicas, por no mencionar aspectos relativos a la intrusión de la privacidad personal y la seguridad medioambiental. Existe, no obstante, una coincidencia generalizada en constatar que ahora no cabe esperar a que la nanotecnología se vaya desarrollando y vaya produciendo impactos, para extraer conclusiones y establecer directrices, tal como sucedió con la evaluación bioética de otros avances biotecnológicos. Este retraso en la convergencia de conocimiento y su exposición pública ha producido desinformación social y mucha ciencia ficción, lo cual propicia la fantasía de nanomáquinas auto-replicables y en cambio no facilita en nada la comprensión y la aceptabilidad sociales, a la vez que se convierte en un obstáculo incomprensido en el propio proceso investigador. No hay que olvidar que el debate sobre las nanociencias vino de la mano de un discurso futurista donde la ciencia ficción dibujaba escenarios escalofrantes.

Así, es preciso invocar el principio de precaución y ejercer cautelas pero para ello es necesario conocer bien la realidad de que se trata. Frente a la posición que propone imponer moratorias sobre la investigación en nanotecnología –y que es pronto para elaborar directrices nanoéticas y jurídicas hasta que estas tecnologías estén más desarrolladas–, hay coincidencia entre instituciones y organismos internacionales, en que el veto a la nanotecnología es inútil y poco práctico, ya que no sólo descarta posibles beneficios, sino que la propia inacción puede producir riesgos adicionales. Sin seguridad responsable, sin tener en cuenta pues el principio de precaución, no cabe hablar de beneficio para la sociedad, ya que aquélla es un requerimiento básico del compromiso con el desarrollo de una economía y sociedad dinámicas basadas en el conocimiento, el desarrollo sostenible y el fortalecimiento, reorientación y apertura del desarrollo responsable del Espacio Europeo de Investigación. Tanto el constitucionalismo más reciente como la misma Carta de Derechos fundamentales de la Unión Europea recogen estas preocupaciones. La Constitución Española, además de ordenar que las políticas públicas se orienten a la protección de la salud (artículo 43) y destacar que todos tienen derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado (artículo 45) establece que es deber de los poderes públicos la promoción de la ciencia y la técnica en beneficio del interés general. Así pues, el deber estatal de promoción de la ciencia y la técnica tiene como límite evidente el respeto de los derechos garantizados por la Constitución, como el derecho a la integridad física, el

derecho a la intimidad, el derecho a la protección de la salud y el derecho a disfrutar un medio ambiente adecuado.

Se hace notar, por otra parte, que es preciso partir de la base de que ya se ha hecho una apuesta –política, científica y económica– por este campo, tanto en nuestro país como en el seno de la UE, como se pone de manifiesto con la mera lectura de los presupuestos del Programa Marco. Hay financiación y recursos para la investigación y el desarrollo tecnológico que, en este momento, se cifran en sumas millonarias en Norteamérica, Europa y Asia, lo cual es indicativo de que no se trata de futuribles sino de algo que está sucediendo. La Unión Europea pretende lograr el desarrollo equilibrado de las actividades económicas y el desarrollo sostenible respetuoso con el medio ambiente, a través de la solidaridad entre los Estados miembros. No hay política europea válida si no tiene incorporada la dimensión dirigida a mejorar las condiciones de vida, esto es, averiguar qué hace y qué puede hacer para el bienestar de la sociedad. Según M. SALVI «La ética de la ciencia y la tecnología ha adquirido un papel relevante en el diseño de la política de la Unión Europea, tanto en lo que se refiere a la UE como a los Estados Miembros; la UE a la vez que respeta las competencias de los Estados Miembros, tiene que realizar su propia reflexión y regulación, algo que no siempre es fácil. Desde un punto de vista normativo, la lista de regulaciones comunitarias que son relevantes para la bioética es larga y también incluye aplicaciones de biotecnología, tecnologías de la información y varias áreas de las ciencias biomédicas. Ejemplos recientes son también un “Código de conducta para una investigación responsable en nanociencias y nanotecnologías”, aprobado por la Comisión en febrero de 2008, para garantizar la contribución activa de la comunidad investigadora en general en materia de identificación y monitorización de posibles riesgos y de respeto de los derechos fundamentales»². Conviene señalar que gran parte de estas normas van dirigidas a la consecución de estándares de calidad, de optimización, de valores, entre otras cosas. Son normas tecnificadas, para cuya aplicación se precisan juicios técnicos y cuyas constantes remisiones al «estado de la ciencia» requieren de operadores con una formación distinta a la del jurista tradicional. El peligro de desplazar el juicio del jurista por el del técnico se produce en muchas ocasiones, especialmente cuando las reglas otorgan un amplio nivel de discrecionalidad al aplicador.

El trabajo que aquí presentamos tiene como finalidades últimas las mismas que el proyecto de investigación que originó la obra: identificar y definir

2. SALVI, M., «Bioética en Europa: diferencias, coincidencias e iniciativas políticas», *Revista Humanitas: Humanidades Médicas*, núm. 44, noviembre de 2009. Disponible en http://www.fundacionmhm.org/www_humanitas_es_numero44/revista.html.

los marcos científico-sociales que pueden dar pie a problemas nanoéticos y afectar a Derechos Humanos, y proponer medidas adecuadas para enfrentarse con estas nuevas investigaciones –y sus aplicaciones–. Y, además, proponer medidas que sirvan para: a) la incorporación de la bioética al proceso investigador, esto es, para que se incorporen de forma habitual la consideración del impacto social de lo que se hace así como las normativas jurídicas y las pautas éticas en la práctica de científicos y laboratorios así como en la innovación responsable en el ámbito empresarial, b) fomentar la formación interdisciplinaria, de suerte que la difusión pública se ajuste a información contrastada, y los diferentes puntos de vista sirvan para elaborar parámetros en el debate informado que eviten el sensacionalismo y la alarma social. Asimismo, se ha tratado de incentivar el análisis de los problemas derivados de las nanotecnologías relevantes para la sociedad: implicaciones éticas, sociales y jurídicas de la nanotecnología (ELSA) y de fomentar los enfoques interdisciplinarios de investigación entre grupos expertos, de ciencia básica y nanotecnología, con los de las humanidades y ciencias sociales. Esto conlleva abrir «espacios bioéticos» como co-laboratorios y lugares de debate.

Para ello, el libro que tienen entre sus manos comienza con la explicación de qué son las nanociencias y las nanotecnologías, desarrollada por dos científicos: Ana CREMADES y David MAESTRE. Una vez que se han puesto las bases empíricas y establecido con claridad el alcance de las cuestiones de las que se va a tratar, se analiza el concepto de Nanoética para determinar si es o no necesaria una nueva disciplina; de ello se ocupan Ricardo GARCÍA MANRIQUE y Albert ROYES. El tercer grupo de textos se refiere a los aspectos antropológicos, sociales, políticos, económicos y jurídicos de las nanotecnologías y en él María Jesús BUXÓ se refiere a la conveniencia del diálogo y la participación pública, Juan Manuel RODRÍGUEZ VICTORINO a las tecnologías convergentes y la democratización del conocimiento, Anna BADIA al marco jurídico internacional que regula las nanotecnologías, Mirentxu CORCOY y yo misma a los principios de precaución y gestión de riesgos en este contexto, Manuel GARÍ a sus implicaciones económicas y Graciela SARRIBLE analiza los rasgos de la participación social en este ámbito. La cuarta sección trata sobre algunas de las aplicaciones nanotecnológicas relacionadas con la salud humana y el medioambiente; para ello Mariela MAUTONE se refiere a la investigación transnacional en este campo, Fabiola LEYTON al uso de animales en este ámbito, Lydia BUISAN trata sobre la toxicidad, Itziar de LECUONA sobre los nanoalimentos, Ruth JIMÉNEZ SAAVEDRA sobre el impacto en la salud laboral y finaliza José Manuel DE CÓZAR que describe los efectos de la vida en una nanocasa.

Agradezco a todos y cada uno de los citados autores el trabajo realizado, la generosidad a la hora de compartir los conocimientos y la paciencia demostrada ante el esfuerzo que ha requerido el ensamblar una obra de estas características.

SECCIÓN I

UNA CUESTIÓN PREVIA: ¿QUÉ SON LAS
«NANO»?

*«La nueva revolución está lista, sólo hace falta creerse
que lo imposible también puede ocurrir»*

Tomás P. de Miguel Moro

Nanociencia y nanotecnología

ANA ISABEL CREMADES

DAVID MAESTRE

SUMARIO.—I. DEFINIENDO NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA.—II. ORÍGENES Y BREVE HISTORIA DE LA NANOTECNOLOGÍA.—III. REVOLUCIÓN NANOTECNOLÓGICA.—IV. EL MUNDO NANO.—V. FABRICANDO NANOTECNOLOGÍA.—VI. NANOMATERIALES Y NANOAPLICACIONES.

El desarrollo del conocimiento y el avance en investigación conllevan generalmente la aparición de nuevas áreas de aplicación tecnológica. Tal es el caso de la nanociencia y la nanotecnología, que recientemente han emergido como una nueva corriente científica de impronta revolucionaria e inmenso potencial de cambio y repercusión social. Esta innovadora disciplina trata de colegir diversas áreas de conocimiento mediante una aproximación multidisciplinar donde la nanoescala es el punto de encuentro de físicos, químicos, biólogos, médicos e ingenieros. A lo largo de este capítulo trataremos de definir y acotar los conceptos de nanociencia y nanotecnología, así como de analizar el marco histórico de sus orígenes y su evolución. Asimismo repasaremos las expectativas, realidades e inquietudes que genera esta innovadora ciencia en la sociedad. Para finalizar describiremos algunos de los nuevos nanomateriales junto a sus aplicaciones tecnológicas en diversas áreas de conocimiento.

I. DEFINIENDO NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA

La Nanociencia y la nanotecnología han surgido recientemente como campos de conocimiento complementarios que evolucionan en paralelo a la aparición de nuevos descubrimientos científicos. Al no considerarse disciplinas cerradas, es difícil ofrecer una definición general sin que ésta parezca sesgada y carente de cierto rigor categórico, por lo que trataremos de acercar-

nos al concepto de «nanociencia y nanotecnología» desde diversas perspectivas.

Para empezar, podríamos afirmar que la nanociencia se refiere al campo de la investigación básica, es decir, al estudio de los fenómenos y las propiedades de los materiales a escala atómica o molecular, mientras que la nanotecnología se centra en el desarrollo de aplicaciones tecnológicas y dispositivos a escala nanométrica. Sin embargo, nanociencia y nanotecnología se hallan estrechamente ligadas y mantienen una línea de evolución conjunta. De hecho, el desarrollo de la investigación básica requiere de herramientas que sólo la nanotecnología es capaz de generar, al igual que el diseño y fabricación de nanomáquinas y nanodispositivos necesitan de una serie de avances en el conocimiento científico aportados por la nanociencia. Por tanto las fronteras que delimitan la nanociencia y la nanotecnología son tan difusas que podemos considerar ambas disciplinas como una única entidad dual, y así al referirnos a una u otra tan sólo estaremos acentuando una de estas dos realidades. Por norma general, en la actualidad se tiende a englobar ambas acepciones bajo el único término de «nanotecnología», de modo que así lo haremos a lo largo de este capítulo.

En su próxima vigésimo tercera edición, el diccionario de la Real Academia Española (RAE) avanza una definición del vocablo «nanotecnología», lo que nos da una idea de la gran aceptación social y la actualidad del término. La RAE define «nanotecnología» como la «tecnología de los materiales y de las estructuras en la que el orden de magnitud se mide en nanómetros, con aplicación a la física, la química y la biología». Por otro lado, la UNESCO recoge una definición más amplia del término, tomada de la «Iniciativa Nacional de Nanotecnología Estadounidense»¹, según la cual «la nanotecnología implica investigación y desarrollo tecnológico a nivel atómico, molecular o macromolecular, en la escala de longitudes de 1 a 100 nanómetros, con el objetivo de proporcionar una comprensión fundamental de los fenómenos y materiales a esta escala y de usar y manipular estructuras, dispositivos y sistemas que presentan nuevas propiedades y funciones debido a sus pequeños tamaños». Sin embargo, algunos países como el Reino Unido, optan por continuar distinguiendo entre nanociencia y nanotecnología. Así, la Real Sociedad Británica define la nanociencia como el estudio y manipulación de partículas nanométricas, mientras que a la nanotecnología le compete el diseño, caracterización y producción de estructuras, dispositivos y sistemas en esta escala nanoscópica.

1. *National Nanotechnology Initiative*, diciembre 2004.

Atendiendo a éstas y otras definiciones, podemos sintetizar algunas de las características más relevantes que definen la nanotecnología. La primera es el orden de magnitud de las entidades y fenómenos analizados: el nanómetro. Un nanómetro corresponde a la millonésima parte de un milímetro, y dimensionalmente engloba fenómenos atómicos y moleculares. Al reducir el tamaño de los objetos hasta el orden de los nanómetros, aparecen nuevos fenómenos que las leyes clásicas de la física no pueden describir. Estas nuevas propiedades surgidas en la nanoescala son una de las características más representativas de la nanotecnología. Debido a las dimensiones de las entidades que trata, así como a los nuevos fenómenos que las definen, en el diseño de nanodispositivos deberán plantearse nuevas estrategias de fabricación diferentes a las que se emplean hoy en día. Finalmente cabe resaltar el carácter pluridisciplinar de la nanotecnología, donde convergen ciencias como la física, la química, la ciencia de materiales, la biología, la medicina y la ingeniería.

II. ORÍGENES Y BREVE HISTORIA DE LA NANOTECNOLOGÍA

Podemos situar los inicios de la nanotecnología en la segunda mitad del siglo XX, no obstante la base científica que sustenta esta ciencia existe desde que hay vida en la Tierra. Desde mucho tiempo atrás, el ser humano ha aprovechado la existencia de los materiales nanoscópicos en la fabricación de artilugios como la copa de Licurgo (siglo IV a.C.) o las vidrieras de las catedrales de la Edad Media, donde el empleo de nanopartículas metálicas confería al vidrio sus características propiedades ópticas. De igual modo las espadas de Damasco debían sus excelentes propiedades mecánicas a la presencia de nanoestructuras de carbono, o ya en una época más reciente, el desarrollo de la fotografía ha estado íntimamente ligado a la producción de nanopartículas de plata sensibles a la luz. A lo largo de la historia podemos encontrar éstos y otros muchos ejemplos en los que las propiedades de los materiales dependen del uso de estructuras nanométricas, pero cuya existencia era desconocida por los fabricantes, por lo que en muchos casos su uso no estaba exento de ciertas connotaciones enigmáticas y sobrenaturales. En el momento en el que la ciencia consiguió dar una explicación lógica a éstas y otras evidencias empíricas, se abrió una puerta al desarrollo de dispositivos llamados a revolucionar diversos campos tecnológicos.

Si bien el término «nanotecnología» no comenzó a emplearse de manera generalizada hasta finales del siglo XX, existe un antecedente que para muchos se ha convertido en el origen de la nanotecnología. En 1959, el físico estadounidense Richard FEYNMAN impartió una conferencia en el Instituto de

Tecnología de California bajo el título «*There is plenty of room at the bottom*»² (hay mucho espacio al fondo), en la que trató sobre cómo manipular y fabricar objetos a escala atómica, abordando el tema desde una perspectiva completamente innovadora. Según R. FEYNMAN, quien posteriormente sería galardonado con el Premio Nobel de Física, las leyes físicas no impedían la manipulación atómica, por lo que con un desarrollo tecnológico adecuado podrían alcanzarse logros científicos impensables en la época, como reducir el tamaño de los computadores o incluso escribir los 24 volúmenes de la enciclopedia británica en la cabeza de un alfiler. De este modo auguraba el desarrollo de un nuevo campo de investigación lleno de posibilidades, un área científica en potencia en la que según FEYNMAN, hasta el momento «se había hecho poco, pero quedaba mucho por hacer». Aun así, pese a lo que muchos piensan R. FEYNMAN no mencionó la palabra «nanotecnología» en su discurso, si bien sentó las bases de esta nueva disciplina. El término fue acuñado por primera vez años más tarde por el profesor N. TANIGUCHI de la Universidad de Ciencia de Tokio en su artículo «*On the Basic Concept of Nanotechnology*»³ publicado en 1974. En este artículo TANIGUCHI se refería a la «nanotecnología» como aquella tecnología que nos permitiría separar, consolidar y deformar materiales átomo a átomo, molécula a molécula. Tiempo después de la presentación de las ideas de R. FEYNMAN y N. TANIGUCHI, K. Eric DREXLER contribuyó a popularizar el término «nanotecnología» en su obra «*Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*»⁴, donde describía el desarrollo de nanomáquinas autónomas capaces de construir maquinaria y ordenadores molécula a molécula, así como de repararse y replicarse de un modo autónomo. En las páginas de su obra, publicada en 1986, K. E. DREXLER vislumbró la posibilidad de que estas nanomáquinas escapasen del control humano y se convirtieran en una amenaza. Sin embargo, muchas de estas ideas fueron tachadas de controvertidas y faltas de rigor científico.

A pesar del ingente desarrollo científico alcanzado en los inicios del siglo XX y las ideas visionarias y revolucionarias de R. FEYNMAN y otros grandes científicos de la época, el avance de la nanociencia y la nanotecnología involucraba una serie de técnicas aún inaccesibles. Hicieron falta varias décadas durante las que se asentaron las bases científicas con las que posteriormente desarrollar la tecnología adecuada que permitiese estudiar y manipular la materia a escala nanométrica e incluso atómica, como aventuraba R. FEYNMAN. Si bien en los años 50 ya existían los microscopios electrónicos de transmisión

2. <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.

3. N. TANIGUCHI, Proc. Intl. Conf. Prod. Engng. Tokyo, Parte II (*Jap. Soc. Precision Engng*).

4. K. E. DREXLER, *Engines of Creation: The coming Era of Nanotechnology*, Anchor Books, N. York (1986).

y posteriormente de barrido, con los que analizar la materia a una escala submicrométrica, no fue hasta 1983 cuando G. BINNING y H. ROHRER, dos investigadores de los laboratorios de IBM en Zurich, desarrollaron el microscopio de efecto túnel⁵. La concesión en 1986 del Premio Nobel de Física a estos dos científicos (junto a E. RUSKA quien previamente había desarrollado el microscopio electrónico de transmisión) sellaba el acercamiento definitivo entre la investigación fundamental y la capacidad tecnológica de manipular átomos y moléculas. Las ideas de R. FEYNMAN comenzaron a hacerse realidad, apareciendo así un nuevo campo de aplicaciones cuyos límites a día de hoy no dejan de ampliarse. El microscopio de efecto túnel puede considerarse como la primera «nanoherramienta» capaz de analizar la materia, además de interactuar con ella a escala atómica, inaugurando así una nueva etapa en el desarrollo de la microscopía y de la ciencia. Más tarde, en 1989 G. BINNING desarrolló el microscopio de fuerzas atómicas. Ambos microscopios han seguido evolucionando y perfeccionándose hasta la fecha, llegando a convertirse en herramientas básicas para el estudio y la manipulación de la materia. Una prueba de las posibilidades de manipulación atómica accesibles gracias al desarrollo de estas nuevas microscopías, consistió en la escritura del logotipo de IBM⁶ colocando tan sólo 35 átomos de xenón sobre una superficie de níquel mediante la utilización de un microscopio de efecto túnel. Tal proeza fue llevada a cabo por un equipo de científicos de IBM dirigidos por D. EIGLER de IBM en 1990. A finales del siglo XX la manipulación atómica era todo un hecho que presagiaba un desarrollo científico sin parangón. Más recientemente se han desarrollado otras técnicas, como la litografía o la abrasión electrónica, iónica o fotónica, con las que se han conseguido construir objetos de tamaños nanométricos. Junto al diseño de nuevas tecnologías con las que explorar el «nanomundo», también se han desarrollado técnicas de simulación con las que abordar nuevas estrategias de investigación.

El avance de la nanotecnología también ha estado ligado al descubrimiento de materiales cuyas singulares propiedades han permitido el desarrollo de nuevas aplicaciones. Uno de los grandes hitos en el desarrollo de la nanotecnología lo constituye el descubrimiento de nuevas estructuras de carbono. En 1985 R. SMALLEY, R. CURL y H. KROTO⁷, galardonados con el Pre-

5. G. BINNING, H. ROHRER, Ch. GERBER y E. WEIBEL, «Surface Studio by Scanning Tunneling Microscopy», *Phys. Rev. Lett.*, 49, 57-61 (1982).
6. D. M. EIGLER y E. K. SCHWEIZER, «Positioning Single Atoms with Scanning Tunneling Microscope», *Nature*, 344, 524-526 (1990).
7. H. W. KROTO, J. R. HEATH, S. C. OBRIEN, R. C. CURL y R. E. SMALLEY, «C-60-Buckminsterfullerenes», *Nature*, 318, 162-163 (1985).

mio Nobel de Química en 1996, descubrieron los fullerenos, consistentes en estructuras moleculares de carbono que se pliegan sobre sí mismas. Sin embargo, ya en los años 70, E. OSAWA⁸ auguró la existencia de estas moléculas, llegando incluso a predecir muchas de sus propiedades. Uno de las estructuras más conocidas de los fullerenos son los «buckyballs» compuestas por 60 átomos de carbono (C₆₀). En la actualidad se han sintetizado más de 1.000 moléculas diferentes y existen más de 100 patentes registradas internacionalmente. Las prometedoras aplicaciones tecnológicas de estas estructuras aún se encuentran en fase de investigación, no obstante todo indica que serán uno de los componentes principales en la electrónica molecular y la biotecnología del futuro. Sin embargo, si existe un descubrimiento científico capaz de superar con creces las expectativas de los fullerenos, éstos son los nanotubos de carbono. Los nanotubos de carbono fueron descubiertos en 1991 por S. IJIMA⁹ y hoy en día constituyen uno de los pilares fundamentales de gran parte de las investigaciones en nanotecnología. Estas estructuras basadas en láminas de carbono enrolladas sobre sí mismas son hasta cien veces más resistentes que el acero pero mucho más ligeros. Igualmente poseen excelentes propiedades térmicas, ópticas y eléctricas y no requieren de complejos procesos de síntesis. Los nanotubos de carbono constituyen una de las grandes apuestas de la investigación en nanotecnología, habiendo demostrado su fascinante potencial en campos tan diversos como la nanoelectrónica, la construcción o la biotecnología. Éstos y otros nuevos «nanomateriales», como los polímeros o las zeolitas, junto a materiales nanoestructurados en forma de nanopartículas, nanohilos, nanocintas, nanotubos o nanoesferas, han generado múltiples aplicaciones que continúan completando el solvente avance de la nanotecnología.

La historia de la aparición y evolución de la nanociencia y la nanotecnología ha estado laureada de multitud de Premios Nobel con los que se ha reconocido la importante labor de los científicos responsables, así como la relevancia científica y social de estas ciencias emergentes de futuro prometedor.

III. REVOLUCIÓN NANOTECNOLÓGICA

Durante los últimos años se ha producido un espectacular avance en el conocimiento de las propiedades de los materiales estructurados a escala nanoscópica. Los nuevos fenómenos asociados a esta escala han provocado

8. E. OSAWA, «Superaromaticity», *Kagaku*, 25, 854-863 (1970).

9. S. IJIMA, «Helical microtubes of graphitic carbon», *Nature*, 354, 56-58 (1991).

un cambio en el paradigma científico de disciplinas tan diversas como la biología, la química, la física, la medicina o la ingeniería. De este modo, las nuevas aplicaciones y dispositivos desarrollados a partir de la nanotecnología están llamados a generar un gran impacto en todos los ámbitos de la sociedad. En un futuro próximo, sectores tan diversos como la electrónica, las telecomunicaciones, la medicina, la computación, las energías renovables, la construcción, la alimentación, la industria textil, la farmacología, la agricultura, la cosmética o el deporte, entre otros muchos, se beneficiarán de un modo u otro del desarrollo de la nanotecnología. Todos estos datos parecen indicar que estamos asistiendo a una nueva revolución científica, comparable a las ocurridas durante el siglo XX con los inicios de la física cuántica y relativista o al desarrollo de la microelectrónica.

En los últimos años se han creado nuevas sociedades científicas y centros de investigación dedicados a la nanotecnología. Además, el número de publicaciones científicas y patentes en el ámbito de las nanociencias ha aumentado exponencialmente, apareciendo incluso nuevas revistas científicas enmarcadas dentro de esta emergente área de conocimiento. Conscientes de la revolución que la nanotecnología está generando en nuestra sociedad, muchos grupos científicos están reorientando sus líneas de investigación hacia la nanociencia. En este contexto, los gobiernos se deben encargar de desarrollar planes estratégicos específicos con los que fomentar y regular el imparable avance de la nanotecnología, así como del control de sus repercusiones en la sociedad. Concretamente, en España encontramos la «Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología 2008-2011», así como la «Iniciativa Ingenio 2010», ambas englobadas dentro de las recomendaciones del «Plan de Nanotecnología de la Comisión Europea». Estas acciones representan la respuesta del gobierno en materia de investigación, desarrollo e investigación, y reconocen el valor de estas disciplinas emergentes en el ámbito de la investigación, así como la transformación en procesos, productos y servicios para la sociedad. Los objetivos principales de estos programas son la creación de una infraestructura científica adecuada con la que afrontar los nuevos retos científicos, así como fomentar la cooperación entre los diversos grupos de investigación, junto a la dedicación de un mayor esfuerzo e inversión en investigación y desarrollo tecnológico por parte de las empresas. La colaboración entre diferentes áreas está generando nuevas estrategias con las que enfocar el desarrollo de la ciencia de un modo sinérgico, como es el caso de la convergencia NBIC¹⁰ (nano-bio-info-cogno).

10. M. C. ROCO y W. S. BAINBRIDGE, *Converging Technologies for improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, Boston, Mass. Kluwer Ac. Publishers (2003).

En los últimos años se han inaugurado en España diversos centros especializados en el sector de la nanociencia y la nanotecnología, como el Instituto de Nanociencia de Aragón (INA), el Centro de Investigación de Nanociencia y Nanotecnología de Asturias, el Centro Andaluz de Nanomedicina y Biotecnología, el Instituto Catalán de Nanotecnología (ICN), el CIC NanogUNE del País Vasco, el IMDEA de Nanociencia en Madrid o el Laboratorio Ibérico Internacional de Nanotecnología (INL) en Braga fruto de la colaboración entre los gobiernos de España y Portugal.

Las expectativas económicas que se han depositado en un futuro «nano» son muy elevadas. El progresivo desarrollo de productos derivados de la nanotecnología dará lugar a un creciente volumen de mercado, del mismo modo que se crearán empresas especializadas, así como nuevas instituciones y puestos de trabajo, por lo que la nanotecnología llegará a tener una especial relevancia en la Economía mundial.

Hoy en día, los millones de entradas asociadas a la palabra «nanotecnología» que pueden encontrarse en internet, constatan el gran impacto mediático de esta disciplina. El creciente interés de la sociedad responde a una mezcla de fascinación y miedo a lo desconocido, de modo que los medios de información deben fomentar el rigor y la difusión de información especializada, evitando el sensacionalismo y el alarmismo. En este contexto es importante procurar que el ciudadano se sienta informado de modo que pueda adaptarse y participar de la progresiva transformación de la sociedad en la que vive. Igualmente la sociedad debe educarse en materia de estas nuevas disciplinas que avanzan con celeridad. En un futuro próximo la nanociencia y la nanotecnología pasarán a formar parte de los programas educativos de colegios, institutos y universidades.

La generación de conocimiento siempre es positiva, sin embargo la tecnología que se desarrolla a partir de él puede conllevar ciertos riesgos y peligros que debemos reconocer para anticipar sus efectos y minimizarlos. A lo largo de la historia, toda revolución tecnológica ha acarreado inevitablemente una serie de efectos secundarios negativos, como la sobreexplotación de recursos, el impacto medioambiental, el aumento de armamento militar o la generación de desigualdades sociales. Para poder disfrutar de los inmensos beneficios que promete la nanotecnología, es fundamental afrontar y resolver los riesgos que la acompañan. En este sentido, diversos organismos nacionales e internacionales se ocupan de regular el uso de la nanotecnología. Sin embargo, el desarrollo de una normativa jurídica específica es un proceso lento y complicado debido en gran parte a las múltiples disciplinas que convergen en la nanotecnología, así como a la celeridad con la que ésta avanza.

Por tanto, con el apoyo y asesoramiento de expertos, se están elaborando normas reguladoras, códigos éticos y guías de procedimiento con las que asegurar la incorporación de la nanotecnología a nuestras vidas de un modo seguro y responsable. Como ejemplo, el «Código de Conducta para una Investigación Responsable en los Campos de las Nanociencias y las Nanotecnologías», establecido en 2008 por la Comisión Europea, recomienda que las actividades de investigación sean comprensibles para el público, seguras, éticas y contribuyan al desarrollo sostenible. Asimismo, éstas deben llevarse a cabo de acuerdo con el principio de precaución, anticipando posibles impactos y contando con una gestión transparente que garantice el derecho legítimo al acceso a la información. En todo momento debe cumplirse con las normas científicas exigentes y los investigadores y centros de investigación deben asumir las repercusiones sociales, medioambientales y para la salud humana que estas actividades conlleven.

IV. EL MUNDO NANO

La mayoría de los materiales que nos rodean poseen tres dimensiones, y es esta dimensionalidad la que les otorga las propiedades y características que los definen. Sin embargo, gracias a los avances alcanzados por la nanociencia y la nanotecnología, se han conseguido fabricar y analizar materiales con dos, una e incluso cero dimensiones. Al reducir el tamaño de la materia hasta límites atómicos, comienzan a evidenciarse nuevos fenómenos y comportamientos que contradicen las leyes de la física clásica y que por tanto requieren de una nueva física. La aparición de estas nuevas propiedades ópticas, electrónicas, térmicas, magnéticas, mecánicas y químicas, es lo que otorga a la nanotecnología la impronta de ciencia revolucionaria. Una de las labores que caracterizan la nanotecnología es sacar ventaja de estas propiedades para optimizar antiguas aplicaciones, así como descubrir y desarrollar nuevos dispositivos a partir de las mismas. El núcleo de los cambios asociados a las dimensiones nanoscópicas se encuentra en la cuantización de los niveles energéticos de los electrones cuando éstos se hallan confinados en el espacio. La teoría cuántica, desarrollada a lo largo del siglo XX, consiguió comprender y modelar muchos de los fenómenos que las leyes clásicas eran incapaces de describir, como el efecto fotoeléctrico o la radiación del cuerpo negro. Gracias a los avances propiciados en las investigaciones de grandes científicos como W. HEISENBERG, M. PLANCK, E. SCHRÖDINGER, L. DE BROGLIE o A. EINSTEIN, entre otros muchos, se descubrieron e interpretaron nuevos y fascinantes fenómenos, como la existencia de magnitudes físicas cuyo espectro de valores es discontinuo, la dualidad onda-corpúsculo o el principio de incertidumbre.

En este nuevo paradigma científico, se encuadran fenómenos más recientes como el transporte balístico, la magnetorresistencia gigante o el efecto túnel que propiciaron el desarrollo de dispositivos con los que avanzar en el estudio de la materia, así como generar nuevas aplicaciones con las que transmitir este avance de la nanociencia a la sociedad.

V. FABRICANDO NANOTECNOLOGÍA

Uno de los retos de la tecnología actual consiste en la fabricación de dispositivos cada vez más pequeños, más potentes y menos costosos, en una carrera hacia la miniaturización que parece no tener fin. Cada vez son más los teléfonos móviles, cámaras, reproductores MP3 y demás dispositivos electrónicos que aumentan su capacidad y número de aplicaciones, pero cuyas dimensiones son cada vez más reducidas. Años atrás, en 1965, el ingeniero estadounidense G. E. MOORE estableció que el número de transistores por pulgada en un circuito integrado se duplicaría cada 18 meses (Ley de Moore). Contra todo pronóstico esta previsión se ha venido cumpliendo hasta hoy, de modo que podríamos pensar que en unas décadas se alcanzaría el límite absoluto en el que un átomo corresponde a un bit. Sin embargo, recientemente el propio G. MOORE predijo que su ley dejaría de cumplirse en unos años, debido a la llegada de la nanotecnología.

Al reducir el tamaño de cualquier objeto, aumentan las dimensiones de su superficie en relación a su volumen, a la vez que aparecen nuevos fenómenos asociados a la nanoescala. Las propiedades físicas de una superficie son diferentes a las del volumen, por lo que al reducir el tamaño de cualquier dispositivo entrarán en juego nuevos factores que modifiquen su comportamiento como consecuencia de la relación superficie/volumen, los llamados efectos de tamaño finito. Otro de los efectos que surgen al reducir las dimensiones de cualquier material hasta tamaños nanoscópicos, consiste en la aparición de fenómenos cuánticos. Por tanto se impone la necesidad de desarrollar una nueva tecnología capaz de asumir el desafío que plantea la miniaturización de los futuros dispositivos. Éste es el papel de la nanotecnología.

En la actualidad, la fabricación de dispositivos tecnológicos se basa en la técnica descendente o *top-bottom*. Esta tecnología se asemeja a la labor de un escultor que consigue fabricar el objeto deseado a partir de un bloque de material de mayor tamaño. Uno de los mayores exponentes de esta técnica es la litografía empleada en la fabricación de componentes electrónicos. Sin embargo, junto a la aproximación *top-bottom* la nanotecnología aborda la construcción de futuros dispositivos desde una nueva estrategia denominada

bottom-up (de abajo hacia arriba). En este caso se parte de estructuras sencillas para ir modelando dispositivos más complejos. La manipulación de átomos y moléculas con el nivel de precisión que requiere esta técnica necesita de una compleja instrumentación. Además el ensamblaje de estructuras requiere un tiempo elevado, con lo que uno de los retos de la nanotecnología es diseñar nuevas estrategias, como el autoensamblaje, con las que posibilitar la fabricación de dispositivos moleculares mediante la aproximación *bottom-up*. Una de las posibles vías de acción consiste en analizar y reproducir los mecanismos fundamentales que la vida ha desarrollando durante los más de 4.000 millones de años de evolución sobre la Tierra, para tratar de adaptarlos a la resolución de nuevos paradigmas.

Según los expertos, el futuro de la nanotecnología pasará por varias etapas. En una primera, que se extenderá entre el 2000 y el 2020, se comenzarán a diseñar nanodispositivos siguiendo la técnica convencional de *top-down*. En una segunda etapa entre el 2010 y 2030, convivirán los procesos de fabricación *top-down* y *bottom-up*, para acabar alcanzando una última etapa en la que los procesos *bottom-up* liderarán la fabricación de nanosistemas y complejos nanodispositivos.

VI. NANOMATERIALES Y NANOAPLICACIONES

Como consecuencia de su carácter multidisciplinar, la nanotecnología generará un amplio abanico de aplicaciones que revolucionarán nuestro entorno tecnológico y transformarán la visión que actualmente tenemos de nuestra sociedad. A pesar de que el despegue de la nanotecnología a nivel mundial surgió hace poco más de una década, hoy en día existen más de 3.000 productos basados en la nanotecnología, la mayoría de los cuales son de uso industrial. Algunas de estas aplicaciones ya se pueden encontrar en nuestra vida cotidiana, como por ejemplo cosméticos y cremas fotoprotectoras incluyendo nanopartículas de óxido de titanio, material textil en cuya confección se emplean nanopartículas hidrófobas y bactericidas, pasta de dientes con nanopartículas que mejoran la adsorción del flúor al esmalte, sistemas de ventilación con filtros antibacterianos fabricados con nanopartículas de plata, nanopartículas hidrófobas empleadas en la fabricación de vidrios y cristales, combustibles con catalizadores a base de nanopartículas de óxido de cerio, material sanitario con nanopartículas antibacterianas, biomarcadores ópticos basados en nanopartículas de silicio, procesadores más potentes y de menor tamaño, pigmentos en pinturas que aumentarán su resistencia, piezas dentales, envases para alimentos, neumáticos, material deportivo y un largo etcétera. El futuro de muchas de estas aplicaciones depen-

derá de la demanda que generen, así como de la viabilidad económica de los proyectos de diseño, producción e implementación en la sociedad.

Aventurar futuras aplicaciones del conocimiento científico resulta una tarea arriesgada, más aún cuando se trata de una ciencia tan joven como la nanotecnología. Sin embargo, a la luz de los resultados obtenidos en las investigaciones más recientes podemos adivinar algunas de las posibles aplicaciones futuras, que podrían englobarse en los siguientes apartados.

1. *Nanomateriales*: La nanotecnología afronta el diseño de «nanomateriales» desde diversas estrategias. La primera es la creación de nuevos «nanomateriales», como los basados en estructuras de carbono (nanotubos de carbono o fullerenos) cuyas fascinantes propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas y ópticas les capacitan para revolucionar el mundo de la nanotecnología en áreas tan diversas como la nanoelectrónica, los sensores, la medicina, la biotecnología o la construcción. Otra estrategia consiste en aprovechar las nuevas propiedades surgidas al reducir las dimensiones de materiales de uso conocido, como es el caso de las nanopartículas metálicas y magnéticas, o los nanohilos, nanotubos y nanoesferas de óxidos semiconductores con nuevas aplicaciones optoelectrónicas, catalíticas, antibacterianas, biotecnológicas, como sensores o en sistemas de almacenamiento de energía. Una última aproximación consiste en modificar las propiedades de un material matriz mediante la incorporación de nanopartículas o la generación de estructuras nanométricas ordenadas, como es el caso de los cristales fotónicos que consiguen mejorar la eficiencia de múltiples dispositivos ópticos.

2. *Nanoelectrónica*: Uno de los principales objetivos que pretende alcanzar la electrónica actual es la consecución de circuitos integrados de dimensiones cada vez más reducidas. Todo parece indicar que a lo largo de este proceso el silicio será sustituido como elemento básico en la electrónica. De entre todos los posibles candidatos destacan las estructuras de carbono, los puntos cuánticos, los nanohilos o las moléculas electroactivas que podrían ser la base de un nano-transistor molecular. La nueva «nanoelectrónica» englobará fenómenos cuánticos y de transporte balístico, llegando incluso a conseguir controlar las propiedades de los electrones de modo individual. De hecho, los puntos cuánticos ya han sido empleados en el desarrollo de diodos láser (en lectores de DVD y CD), o en la fabricación de transistores de un único electrón. En un futuro, la capacidad de autoensamblarse y duplicarse del ADN hará de esta cadena un firme candidato para emplearse en sistemas nanoelectrónicos y circuitos electrónicos con capacidad de auto-reparación.

3. *Informática y Telecomunicaciones:* Es muy probable que en los próximos años los procesadores comiencen a fabricarse a partir de compuestos de carbono o moléculas orgánicas, lo que les conferirá nuevas propiedades, además de mayor potencia y dimensiones más reducidas. Otras estrategias plantean llevar a cabo las operaciones lógicas por medio de señales luz en dispositivos basados en cristales fotónicos. Los sistemas de almacenamiento magnético continuarán incrementando su capacidad gracias a la espintrónica, que emplea como magnitud física el spin del electrón en lugar de su carga, o a la magnetorresistencia gigante, y en un futuro podrían incluso llegar a emplearse átomos individuales como bits, lo que multiplicaría las posibilidades de almacenamiento de información. En la actualidad existe una base teórica que fundamenta el desarrollo de la computación y la criptografía cuánticas mediante el empleo de los puntos cuánticos basados en semiconductores, lo que generaría un cambio radical en este área de conocimiento. Entre otros muchos dispositivos, en unos años se comercializarán pantallas ultradelgadas y flexibles, así como nuevos dispositivos periféricos. En un futuro se pretende aumentar el área útil de los televisores y las pantallas para presentar información, reduciendo su tamaño y mejorando sus prestaciones mediante nanocristales de seleniuro de cinc o de sulfuro de cadmio, que además disminuirían el consumo energético. El uso de nanocristales también mejorará la capacidad de almacenamiento de energía en las baterías de dispositivos móviles, como teléfonos y portátiles.

4. *Nanosensores:* Un sensor ideal es aquel que resulta mínimamente invasivo, de modo que su fabricación requiere un proceso de miniaturización continuo basado en la nanotecnología. Hoy en día, la fabricación de sensores de gases cuya eficiencia y selectividad aumentan mediante el uso de nanoestructuras de óxidos semiconductores y nanopartículas metálicas es una realidad. Del mismo modo se están desarrollando sensores biocompatibles basados en estructuras de carbono. En un futuro estos sensores podrán responder de un modo inteligente a las variaciones producidas en nuestro cuerpo o en el ambiente donde se encuentren.

5. *Nanobiotecnología y Medicina:* El uso de la nanotecnología permitirá mejorar el diagnóstico y análisis de múltiples enfermedades, a la vez que dotará de mejores mecanismos para tratarlas y combatirlas. Mediante la nanotecnología se ha conseguido aumentar la efectividad y control en el transporte de fármacos mediante el desarrollo de nanodispensadores basados en estructuras de carbono, reduciendo así la necesidad de ingesta de altas dosis y transportándolos tan sólo a aquellas regiones del cuerpo donde sean necesarios. Igualmente, gracias a la nanotecnología se han desarrollado marcadores moleculares, biosensores capaces de monitorizar parámetros fisiológicos,

bactericidas basados en nanopartículas, al igual que se han fabricado ligamentos y tendones artificiales, prótesis óseas de mayor resistencia, regeneración de tejido nervioso o geles péptidos nanoestructurados capaces de detener hemorragias. La nanosíntesis de compuestos moleculares fundamentales en los seres vivos, como los lípidos o las proteínas, ofrece perspectivas hasta ahora desconocidas en biomedicina y biofarmacia, sobre todo en el sector de la posgenómica.

6. *Energías Renovables y Desarrollo Sostenible:* La nanotecnología se ha convertido en uno de los grandes aliados de las nuevas energías. En los últimos años se han desarrollado células solares de nueva generación basadas en nanoestructuras de silicio, germanio o nanopartículas, con las que se han conseguido remarcables aumentos de absorción y eficiencia. Otras energías renovables, como la eólica, también se han beneficiado del desarrollo nanotecnológico que permite fabricar palas de molino mucho más resistentes y efectivas mediante el uso de nanotubos de carbono. Empleando nanopartículas de óxido de cerio y materiales porosos se ha conseguido mejorar la eficiencia de los combustibles, reduciendo así las emisiones contaminantes. La fabricación de aviones y coches con materiales más ligeros, como nanotubos de carbono, igualmente contribuirá a reducir estas emisiones a la atmósfera. Además el uso de nanopartículas, materiales porosos y estructuras de carbono permitirá almacenar el exceso de CO₂ y otras moléculas contaminantes. Mediante el desarrollo de materiales porosos nanoestructurados, se han comenzado a fabricar «nanofiltros» con los que tratar el agua y la atmósfera. La nanotecnología también está contribuyendo a mejorar las técnicas de producción agrícola y el control de plagas.

7. *Otros:* Existen otras muchas áreas en las que la nanotecnología está permitiendo el desarrollo y optimización de múltiples aplicaciones, como la industria textil, la conservación de alimentos, la creación de pigmentos y recubrimientos de superficies, los materiales fotocrómicos, los cosméticos e incluso la fabricación de nuevas «nanoherramientas» como los «nanotermómetros».

El asombroso viaje hacia el mundo «nano» acaba de comenzar y su imparable avance promete revolucionar nuestra sociedad, dejando obsoletos muchos de los conceptos y tecnologías existentes hoy en día. En los próximos años se forjarán nuevos paradigmas científico-técnicos gracias al conocimiento y control de la materia y sus propiedades a escala atómica y molecular. Es nuestra responsabilidad cuidar que este avance suceda de un modo responsable, ético y respetuoso con nuestro entorno, así como involucrarnos en el fascinante reto de descubrir la grandeza de lo pequeño.

SECCIÓN II

SOBRE EL CONCEPTO DE NANOÉTICA

¿Necesitamos una nanoética? (La nanoética como disciplina específica)

RICARDO GARCÍA MANRIQUE

SUMARIO.—I. APARICIÓN DE LA NANOÉTICA.—II. NANOTECNOLOGÍAS Y PREGUNTAS ÉTICAS: UN PANORAMA.—III. EXIGENCIAS CONCEPTUALES PARA UNA NANOÉTICA.—IV. DILEMAS ABIERTOS.—BIBLIOGRAFÍA.

I. APARICIÓN DE LA NANOÉTICA

La nanoética ya está aquí. Ha hecho acto de presencia en forma de revistas académicas, monografías, libros colectivos, institutos, comités, grupos de trabajo, informes, recomendaciones e incluso proyectos de investigación, todos ellos proliferando a gran velocidad durante esta primera década del nuevo milenio. No ha aparecido sola, sino en compañía de otras indagaciones, de manera que no es fácil aislarla. Por el lado de lo «nano» está asociada con otras implicaciones de esta nueva tecnología de lo inmensamente pequeño, por ejemplo bajo el rótulo de «implicaciones sociales, políticas, jurídicas y morales de las nanotecnologías» o algún otro que reúna varios de estos adjetivos (BENNETT-WOODS 2008; HUNT y MEHTA 2008a; TEN HAVE 2007a; ALLHOF, LIN, MOOR y WECKERT 2007). Por el lado de lo «ético» está asociada con implicaciones correspondientes de otras investigaciones científicas o desarrollos técnicos, como los de la ingeniería genética y la robótica y, más en general, con la ética de la actividad científico-técnica.

El hecho de que no se esté desplegando en solitario es prueba de su juventud, apenas unos pocos años si dejamos de lado algunos precedentes; y, como decía, dificulta su aislamiento, pero no autoriza a sospechar de su existencia. Sin duda, hay algo llamado *nanoética*, y trataremos de desentrañar de qué se trata y cuáles son las razones, condiciones y expectativas de su existencia. Es joven, en efecto, y no podía ser de otro modo porque responde

a la expansión también muy reciente de cierto tipo de nuevas tecnologías. Además, es precoz porque, a diferencia de otras reflexiones éticas, ha nacido casi al mismo tiempo que su campo de aplicación: apenas han dado las nanotecnologías sus primeros pasos, ya está aquí la nanoética. Algunos piensan que, más que precoz, la nanoética es prematura porque su sazón requiere de cierto grado previo de desarrollo de las nanotecnologías, aún por tener lugar. Otros, en cambio, celebran que, por una vez, la reflexión ética escolte desde el principio el avance de su objeto de análisis.

Un contexto de la aparición de la nanoética es el del auge de las éticas aplicadas, que tiene toda la traza de continuar en el futuro próximo¹. La nanoética sería, desde este punto de vista, una ética aplicada más. Otro contexto, que está relacionado con el anterior pero que no es exactamente el mismo, es el de la cada vez mayor atención de la ética hacia la actividad científica y técnica, de la cual la nanoética sería una faceta más. Esta mayor atención se debe seguramente a la toma de conciencia de que la actividad científica y técnica da lugar a resultados que merecen ser evaluados moralmente y, a su vez, deriva por lo menos de una circunstancia teórica y otra práctica, ambas propias de las últimas décadas del siglo XX. La teórica es la que alguien llamó significativamente el «desplome de la dicotomía hecho-valor» (PUTNAM, 2004) o, simplificado, la caída en desgracia de la creencia de que el mundo de los hechos y el mundo de los valores estaban separados por completo, una creencia que se basaba en la tesis de la falacia naturalista, según la cual (o según una versión de la cual) la lógica no permite derivar juicios de valor a partir de juicios de hecho (MÉNDEZ 2010). La circunstancia práctica es la alianza reciente entre el saber científico y el saber técnico, que ha dado lugar a la llamada «tecnociencia» (MÉNDEZ y SILVEIRA 2007: 25; SILVEIRA 2008: 15-16), que ya no permite deslindar, como antes, entre la labor que tiene por objeto el conocimiento y la que tiene por objeto la determinación de modos de hacer. Un ejemplo clásico es el del proyecto Manhattan, que permitió la construcción de las primeras bombas atómicas en 1945, y que conllevó, porque lo requirió, un avance teórico muy importante en el ámbito de la física nuclear. Otros casos bien conocidos son el del avance de la computación, asociada con los ordenadores, de la astrofísica, asociada con la navegación espacial, o la genética, asociada con la ingeniería homónima (MÉNDEZ y SILVEIRA 2007: 26).

1. A pesar de que la propia noción de «ética aplicada» es cuestionable, bien sea a partir de unidad inescindible de la ética (luego no existiría la ética aplicada), bien sea a partir del rechazo del supuesto de toda ética aplicada: el de la existencia de una ética universal que pueda ser después proyectada sobre campos, problemas o sujetos particulares (luego toda ética es por definición aplicada) (MACINTYRE 1984).

Por eso, la imagen de la actividad científica como actividad aislada tanto de los valores como de los haceres, esa imagen que aparece, por ejemplo, en el famoso texto de Max WEBER sobre la ciencia como vocación (WEBER 1975 [1919]) ya no es del todo adecuada. Porque, en la medida en que la ciencia se haya convertido en tecnociencia, el conocimiento queda asociado con determinadas consecuencias prácticas (lo que efectivamente puede hacerse con él) y, a su vez, estas consecuencias prácticas, al tiempo que el tipo de investigación teórica que requieren, pueden ser objeto de evaluación ética (SILVEIRA 2010). En este contexto, no es extraño que el desarrollo reciente de la nanociencia y las nanotecnologías haya ido acompañado desde el principio por la reflexión ética al respecto. Más cuando estas nuevas tecnologías poseen, o prometen llegar a poseer, una muy especial característica, que comparten con la robótica y la ingeniería genética: la capacidad para cambiar significativamente los rasgos definitorios de la especie humana en un plazo imprevisible pero no demasiado lejano. HABERMAS ha tratado de mostrar las graves consecuencias éticas que puede conllevar esta capacidad técnica (en particular, la de la ingeniería genética) de alterar los rasgos distintivos de lo humano: el propio fundamento de la moral, la propia comprensión de nosotros mismos como seres morales está en juego (HABERMAS 2009 [2001]).

Este trabajo plantea la cuestión de si es necesaria una nanoética concebida como ética específica. Para ello, habremos de preguntarnos por el fenómeno tecnológico que le sirve como base (la nanotecnología) y por el tipo de cuestiones éticas que suscita y el modo en que han sido abordadas, para determinar si efectivamente necesitamos la nanoética y con qué características.

II. NANOTECNOLOGÍAS Y PREGUNTAS ÉTICAS: UN PANORAMA

Definiciones de lo nanotecnológico. Es un hecho que ciertas investigaciones y desarrollos tecno-científicos han sido denominados «nanotecnologías». Sin embargo, cuál sea el elemento característico de éstas no es cosa evidente. Se han distinguido hasta tres tipos de definiciones de la nanotecnología (SCHUMMER 2008: 266 y ss.): nominales, reales y teleológicas². Y lo interesante ahora es que la definición por la que se opta determina en buena medida los problemas nanoéticos. De entre las definiciones nominales (las que estipulan las condiciones necesarias y suficientes del objeto definido), la más extendida es la que caracteriza la nanotecnología en términos más o menos equivalentes a

2. Otros se limitan a afirmar en una línea semejante que el término «nanotecnología» se refiere a «muchas cosas diferentes» (TEN HAVE 2007b: 29).

éstos: «la investigación y manipulación de objetos materiales en el rango de 1-100 nanómetros, con el fin de descubrir nuevas propiedades y de desarrollar nuevos mecanismos y funcionalidades que dependen esencialmente de ese rango». Según esta definición, sigue SCHUMMER, caerían dentro de la nanotecnología disciplinas tales como la química, la ciencia de materiales, la física del estado sólido, la farmacología, la biología molecular y la ingeniería química, mecánica y eléctrica. Y resultaría que la nanotecnología no generaría cuestiones éticas nuevas porque «no hay nada nuevo, más que el término». La definición «real» de la nanotecnología (o definición extensiva) consiste en listar una serie de asuntos particulares en curso de investigación y aceptar, por definición, que todos ellos forman el concepto. En las listas que uno puede encontrar aparecen asuntos de lo más diverso, como, por ejemplo, la investigación de las nanopartículas y de los materiales nanoestructurados, la catálisis heterogénea, la química supramolecular, la electrónica molecular, la investigación en semiconductores, en cristales líquidos, en células solares, los sistemas de almacenamiento de hidrógeno, los sensores bioquímicos, la administración precisa de fármacos, la neurofisiología, la ingeniería de tejidos humanos, etc. En este caso, SCHUMMER aconseja usar el término en plural («nanotecnologías»), porque entre todos esos campos de investigación no hay una colaboración interdisciplinaria digna de destacar. En lo que respecta a una supuesta nanoética, sus contenidos variarían en función de lo que uno incluya en la lista de lo nanotecnológico, y ello impediría su consideración unitaria y autónoma. Por último, la definición teleológica categoriza la nanotecnología en función de fines futuros, de manera que, primero, se especifican esos fines que se pretende alcanzar y, después, se define como nanotecnología todo aquello que pueda contribuir a ese objetivo. El más famoso exponente de esta concepción de la nanotecnología es Eric DREXLER cuyo libro *Engines of Creation* (1986) anticipa un futuro radicalmente distinto del presente en el que destacan el perfeccionamiento humano y el desarrollo de la robótica. Por supuesto, la manipulación a escala nanométrica juega un rol fundamental en los fantásticos avances que se anuncian, pero lo que define la nanotecnología en este caso es la vinculación de las investigaciones con los objetivos predeterminados. En este caso, y dados los cambios que este futuro nanotecnológico supone, la nanoética tendría un amplio campo para explorar. En realidad, la propia nanotecnología, así definida, estaría apenas encubriendo una determinada opción moral, la de que ese mundo futuro es mejor que el presente y merece la pena irse acercando a él. Aquí el debate ético sería un debate extenso pero definido: si en efecto ese futuro es moralmente deseable. En realidad, la nanotecnología sería, en sí, una nanoética, dado que se define a partir de una determinada opción moral. En definitiva:

según cómo definamos la nanotecnología, nos encontraremos con que la nanoética puede tener unos u otros contenidos, o ninguno en particular³.

Temas nanoéticos. A un resultado similar llegaremos si, dejando de lado la cuestión definicional, atendemos a los asuntos que son rotulados como nanoéticos por quienes se ocupan de ellos, o a los intentos de determinación del contenido de la nanoética. Una propuesta de tipología es la de Adam KEIPER, que identifica cuatro grupos de problemas principales, los que tienen que ver con la seguridad, la justicia, el cambio social y el cambio en la naturaleza humana (KEIPER 2007). Entre los problemas de seguridad destaca el del peligro de una nueva escalada armamentística y, a otro nivel, el del potencial peligro que suponen las nanomáquinas autorreplicantes. Entre los problemas de justicia figura el de la distribución social de los avances nanotecnológicos, el de la ampliación de la brecha Norte-Sur o el del desarrollo sostenible. Problemas calificados como de cambio social son los de la erosión de la privacidad, la gestión de las nuevas fuentes y formas de almacenamiento de información o el de la orientación de las nanotecnologías hacia la erradicación de la escasez. Por último, los problemas más llamativos quizá sean los que vincula con la redefinición de la condición humana: alargamiento indefinido de la vida, aumento de la inteligencia y demás capacidades, computerización cerebral, posibilidad de elección entre varias antropomorfías..., etc. Las categorías de KEIPER no son, desde luego, mutuamente excluyentes, sino solapadas y, además, prácticamente exhaustivas, porque su generalidad permite incluir en alguna de ellas cualquier cuestión.

Cuando uno se centra en un particular campo de aplicación de las nanotecnologías, la lista de problemas no por ello decrece. Tomemos, por caso, la nanomedicina. Bert GORDIJN divide los problemas éticos según el plazo en el que se pueden presentar, y la extensión de lo problemático es casi inabordable: efectos negativos inesperados de terapias en principio positivas, dificultad para controlar los movimientos de las nanopartículas en el cuerpo humano, reactividad imprevisible, ampliación de la distancia entre las posibilidades de diagnóstico y las de terapia, todo ello en el corto plazo. En el medio plazo: complicación y difuminación del concepto de «cuerpo humano», consiguiente mercantilización progresiva de lo corporal, reducción de la intimidad y la autonomía, crisis de la identidad personal, desaparición de las ideas clásicas de normalidad y salud y más que probable incre-

3. Aún hay definiciones que no parecen cuadrar en ninguna de las tres categorías propuestas, o que las desbordan, como la de HUNT y MEHTA, para quienes la nanotecnología es algo más que un conjunto de tecnologías: es una «nueva fuerza social: un conductor [driver] de cambio tecnológico, social y cultural» (HUNT y MEHTA 2008b: 1).

mento de la injusticia en materia sanitaria; del largo plazo, en el que aparece ya la posthumanidad, mejor ni hablar (GORDIJN 2007: 110-121; esta rica complejidad ética de la nanomedicina puede comprobarse también en EVANS 2007: 143; o BAWA y JOHNSON 2008: 215 y ss.). Todo esto puede resumirse en la predicción de FREITAS: la nanotecnología nos aboca nada menos que a la redefinición de los conceptos de salud, enfermedad y medicina (FREITAS 2007: 168-169).

Etapas y tendencias de la nanoética. El rango de la nanoética también puede verse en perspectiva histórica (FERRARI 2010), en la que pueden distinguirse hasta cinco etapas (eso sí, superpuestas) que marcarían su desarrollo: (1) una ética de la estimación y ponderación del riesgo; (2) una ética de la prudencia orientada al abordaje de la incerteza y los límites epistémicos de las nanotecnologías; (3) una ética «metafísica» del tiempo, que conceptualice el nuevo concepto de «futuro» que las nanotecnologías generan; (4) una ética socioeconómica; y, por fin, (5) una ética de la reconstrucción de las relaciones del presente con el futuro. Desde luego, estos nombres no son todo lo significativos que deberían, pero bastan para reiterar la idea de la heterogeneidad de la materia. Además, en estas cinco etapas, que son otras tantas orientaciones, se combinan diversamente el deontologismo de raíz kantiana, el consecuencialismo utilitarista y la neoaristotélica ética de las virtudes, por un lado; por otro, se contrapone una ética analítica que pretende la resolución de problemas concretos con una ética de síntesis, u *ontológica*, que aspira a iluminar el conjunto del nuevo mundo nanotecnológico que se avista, o, si se quiere, se contrapone una ética del presente frente a una ética del futuro, contraposición que, cómo no, trataría de ser superada por una última etapa final, que es la que la autora propone.

En estas dicotomías pueden observarse las dos grandes tendencias de la nanoética, que responden a sendas ideas generales de lo nanotecnológico que pueden ser relacionadas con la definición nominal y con la teleológica ya mencionadas, y que parecen incompatibles en su estilo y ambiciones. Según la primera, lo nanotecnológico alude a un tipo de tecnología realmente existente, que, a pesar de sus muchas posibilidades, no difiere en esencia de otras tecnologías ni promete alterar radicalmente el mundo. La nanoética correspondiente es una ética modesta que pretende ir abordando y resolviendo problemas concretos que surgen a partir de la aplicación de este tipo de tecnología a campos diversos. Según la segunda, la nanotecnología consistiría básicamente en el desarrollo de nanomáquinas autorreplicantes capaces de manipular con precisión la estructura atómica, por tanto capaces de construir cualquier estructura molecular (de ahí que también recibiese el nombre de manufactura o ingeniería molecular). Esta tecnología, aún por

desarrollar, sí sería realmente revolucionaria y promete un mundo radicalmente distinto del actual. Si hacemos caso a DREXLER, ésta fue la concepción inicial de la Nanotecnología, la de Richard FEYNMAN y su provocadora conferencia de finales de 1959 «There's Plenty of Room at the Bottom», un texto que merece la pena leer si uno está interesado por estas cosas (FEYNMAN 1960). En cambio, sigue DREXLER, la que se ha impuesto es una concepción de la nanotecnología mucho menos ambiciosa, que ofrece nuevos materiales y productos con nuevas propiedades, pero que no sigue el proyecto investigador propuesto por FEYNMAN y que incluso niega que sea posible algún día (DREXLER, 2008: 28-29). En todo caso, resulta fácil comprender que una concepción de la nanotecnología como ésta da lugar a una nanoética muy distinta, en la que importa ante todo la prefiguración y evaluación del mundo posible que abriría el desarrollo de la ingeniería molecular. Una nanoética que, por cierto, no se muestra necesariamente favorable a ese mundo posible: en ocasiones lo que se propone es justamente el abandono de la investigación que pueda conducir hasta él (JOY 2007 [2000]).

III. EXIGENCIAS CONCEPTUALES PARA UNA NANOÉTICA

El panorama que hemos trazado hasta aquí no es muy alentador. Desde luego, la proliferación de lo nanoético es notable (aunque ciertamente redundante: KEIPER 2007). Sin embargo, ni el núcleo ni los límites de lo nanoético parecen fáciles de trazar a la vista de lo que, de hecho, recibe esta calificación. Más de uno ha señalado que lo nanoético no deja de ser una etiqueta de moda que se puede adherir a casi cualquier reflexión ética relacionada con la investigación, la técnica o la medicina, con la ventaja no desdeñable de que las posibilidades de obtener financiación pública o privada aumentan. Lo que procede es, pues, poner un poco de orden, y preguntarnos qué deberíamos exigir a una nanoética para poder admitirla como una reflexión ética específica, esto es, dotada de caracteres propios. Porque el hecho incontestable de que el conjunto de actividades y productos humanos vinculados con las nanotecnologías generen cuestiones morales no es suficiente para ello.

Una ética aplicada debe poder caracterizarse de acuerdo con todos o algunos de estos elementos: temas, métodos, contexto de aplicación, valores y sujetos. Es decir, tiene sentido predicar la existencia de una ética aplicada si podemos diferenciarla de la ética general, y de otras éticas, de acuerdo con algunos de estos elementos. Así sucede en el caso típico de las éticas profesionales (pensemos en la deontología jurídica o médica), donde, por lo menos, los sujetos, los temas y el contexto de aplicación son específicos, y según las concepciones de las mismas, también los métodos y los valores.

Esto no significa, por cierto, que una ética aplicada sea autónoma respecto de la ética general. Así lo he tratado de mostrar respecto de la deontología jurídica, o ética de las profesiones jurídicas (GARCÍA MANRIQUE 2008). Lo que sí supone es que, siguiendo con el mismo ejemplo, la deontología jurídica se ocupa de problemas propios (¿puede un abogado mentir ante un tribunal?), se dirige a sujetos especiales (abogados, jueces y demás profesionales del derecho) que actúan en un contexto especial (la práctica profesional del derecho). Además, presenta valores propios (la seguridad jurídica, el imperio de la ley, o una cierta interpretación de la confidencialidad). Menos claro es que siga métodos propios. Otro ejemplo es el de la bioética, donde destacan claramente como elementos específicos el de los temas y los valores y, probablemente, puedan identificarse métodos de análisis más o menos característicos.

La exigencia temática. Los temas propuestos para la nanoética no son temas nuevos (ZUCKER 2008: 64-66 y 70). No lo son los temas del riesgo actual o potencial, ni los del impacto medioambiental o los de la justa distribución de los bienes y oportunidades que el desarrollo nanotecnológico genere. Tampoco lo son los relacionados con el que podemos llamar futuro transhumanista; de hecho, se han formulado interrogantes morales acerca de este futuro hipotético, pero en relación con la ingeniería genética o con la robótica, no particularmente en relación con lo nanotecnológico (por ejemplo, HABERMAS 2009 o SANDEL 2007).

La exigencia metodológica. Tampoco se encuentran métodos de análisis particulares o que de algún modo puedan considerarse específicos de la nanoética y sus desarrollos actuales. Las constantes referencias a la evaluación de riesgos o al principio de precaución, o las propuestas de balance entre costes y beneficios, no sirven para caracterizar metodológicamente a la nanoética, porque forman parte de muchas otras éticas aplicadas, sobre todo de las vinculadas con el mundo de la investigación, la medicina o la producción tecnológica.

La exigencia contextual. Ciertamente es que la nanoética tendría su propio campo de aplicación o contexto, el de la investigación y desarrollo de las nanotecnologías. La cuestión es que, por sí solo, no parece que este elemento sea suficiente para constituir una ética específica, sobre todo porque, además, este campo de aplicación no puede identificarse como significativamente diferente de otros ámbitos de investigación y desarrollo de la tecnociencia. En este sentido, cabría en todo caso hablar de una ética tecnocientífica, pero no particularmente de una nanoética.

La exigencia axiológica. Los valores que aparecen en los debates nanoéticos son los mismos que aparecen en otros debates éticos, sin que pueda apreciarse una utilización distinta de los mismos: justicia, libertad, seguridad, privacidad, prudencia... (véase, por ejemplo, GUSTON, PARSI y TOSI 2007; o, en otro orden de cosas, la Recomendación de la Comisión Europea de un «Código de Conducta para la investigación responsable en nanociencias y nanotecnologías», de 7 de febrero de 2008). De nuevo cabe añadir, como en el caso anterior, que el modo en que estos valores son aplicados o tenidos en cuenta se asemeja al de la ética de la investigación tecnocientífica, pero ello de por sí no autoriza a más que a aplicar a la nanotecnología los presupuestos axiológicos de dicha ética.

La exigencia subjetiva. Por fin, tampoco los sujetos o actores a los que se dirigiría la nanoética pueden presentarse como constituyendo un grupo específico. Si pensamos en el conjunto de los investigadores y técnicos vinculados con la nanotecnología, no parece que esta particular dedicación los diferencie, a cualquier efecto ético pertinente, de cualesquiera otros investigadores y técnicos, sometidos, por tanto, a problemas semejantes en contextos semejantes⁴.

En definitiva, no parece que haya posibilidad, pero tampoco necesidad, de constituir una nueva ética aplicada a la que llamásemos «nanoética». Los que han abordado expresamente la pregunta llegan a la misma conclusión, con base en argumentos equivalentes a los que hemos ofrecido aquí (KEIPER 2007; ALLHOFF 2008). Por supuesto, esto no significa que no se vaya a seguir hablando de nanoética, incluso que no sea conveniente hacerlo. El término está de moda y lo seguirá estando: lo que importa es ser conscientes de que, con él, estamos denominando, en todo caso, un cierto conjunto de cuestiones morales suscitadas por el desarrollo y aplicación de las nanotecnologías, conjunto en el que, sin embargo, no se encuentra característica específica alguna que nos autorice a pensar en una ética aplicada diferenciada. Sobre todo, no es específico de estas cuestiones el hecho que sean suscitadas por las nanotecnologías: no son nuevas y están vinculadas con muchos otros ámbitos de la acción humana.

ALLHOFF ha propuesto una justificación «pragmática» de la nanoética, disponible a falta de una justificación «metafísica» (que sería la equivalente a la que aquí hemos rechazado). Lo que pasa es que esta justificación pragmática no pasa de ser una toma de conciencia de las muchas e importantes

4. Una comparación entre la nanoética y otras éticas aplicadas que pretende negar la autonomía de la primera por contraste con las segundas puede verse en ALLHOFF 2008: 27-31.

implicaciones éticas de las nanotecnologías. Como ha escrito, «la nanotecnología merece atención ética. Necesitamos ser conscientes de los impactos éticos que la nanotecnología tendrá, y necesitamos desarrollar nuestro conocimiento empírico de la ciencia de manera que tales impactos puedan ser bien comprendidos (...). No creo que necesitemos una ética aplicada autónoma para estudiar estas cuestiones, pero eso, al fin y al cabo, no hace a estas cuestiones menos importantes» (ALLHOFF 2008: 33). Podemos estar plenamente de acuerdo con estas palabras, y también con las de Ferrari, cuando propone concebir la nanoética como (1) una oportunidad para reflejar sobre algunos de los límites de los marcos éticos habituales que se aplican a las tecnologías; (2) una vía para profundizar en nuestro entendimiento de las complejas relaciones entre la tecnología y la sociedad; y (3) un momento en el que reflexionar sobre las implicaciones de los actuales procesos de toma de decisiones en ciencia y tecnología (FERRARI 2010: 20-21). Hay que añadir, no obstante, que si la justificación de ALLHOFF no es propiamente una justificación, tampoco la «conceptualización» de la nanoética de FERRARI es propiamente tal, sino un consejo sobre cómo orientar la meditación ética sobre las nanotecnologías, que es igual de válido para cuando esa meditación se orienta hacia otros ámbitos científicos y tecnológicos más o menos novedosos.

IV. DILEMAS ABIERTOS

Interesa, en fin, tomar conciencia de algunos de los dilemas, entendidos como alternativas, a los que se enfrentan los que pretenden abordar las implicaciones morales de las nanotecnologías. Son, al menos, los tres siguientes: ¿es demasiado pronto para la nanoética? (es decir: ¿nos ponemos con ello o debemos esperar todavía un poco más?); ¿ha de ser una ética del presente o del futuro?; ¿ha de ser una ética de lo concreto o de lo global?

¿Una ética prematura? Alguna voz se ha elevado para decir que todavía es demasiado pronto para elaborar una nanoética, porque su objeto de análisis aún está verde, esto es, aún está por determinar con precisión. Ésta es la opinión de KEIPER, para quien todavía no disponemos de un acuerdo básico sobre los hechos nanotecnológicos que supuestamente habrían de constituir la base del análisis nanoético (KEIPER 2007). No se trata aquí de negar la existencia de las nanotecnologías, sino, más bien, de hacer ver que la nanoética que a fecha de hoy puede hacerse sobre una base sólida no es posible diferenciarla de otras reflexiones éticas sobre cuestiones tecnológicas. Porque, en la medida en que la nanoética aparece como una reflexión diferenciada, lo es sobre una realidad futura e imaginada, en verdad impredecible

y, por tanto, inaceptable como tal base, porque, de realizarse alguna vez, lo será en términos aún desconocidos y con efectos aún inesperados: una reflexión ética sobre una base sólo imaginada, y que quizá no llegue nunca a existir tal como se imaginó, habría que calificarla como mínimo como mal orientada, si no como un mero divertimento. Conecta esta pregunta, pues, con la siguiente. Pero antes de pasar a ella, recordemos que no todos piensan así. Son muchos los que han saludado como una oportunidad única la posibilidad de que la nanoética pueda desarrollarse al mismo tiempo que su objeto de análisis, puesto que, hasta ahora, la reflexión ética siempre fue al rebufo del desarrollo tecnológico, apareciendo a menudo demasiado tarde, en la medida en que ya no pudo influir en ese desarrollo, cuando lo ideal sería que pudiese influir en él, determinándolo o al menos condicionándolo (EINSEDEL y GOLDENBERG 2008: 214-215; HUNT 2008: 193; EVANS 2007: 149; GORMAN, WERHANE y SWAMI 2009: 186). En este sentido, HABERMAS entiende que es correcto «controlar el enjuiciamiento normativo de la evolución actual [de la ingeniería genética] planteándonos cuestiones con las que el posible desarrollo biogenético podrá enfrentarnos teóricamente un día (aun cuando hoy estén totalmente fuera de alcance)». Y esto teniendo en cuenta cómo los lobbies de la técnica genética hacen uso «de precedentes no reflexionados y prácticas convertidas imperceptiblemente en costumbre para dejar de lado los reparos morales con un encogimiento de hombros y un “demasiado tarde”». Lo que el filósofo alemán aplica a la ingeniería genética, bien podemos considerarlo aplicable a las nanotecnologías y, con él, pensar que «mientras consideremos a tiempo las fronteras dramáticas que quizá cruzaremos pasado mañana, podremos tratar con más serenidad los problemas del presente» (HABERMAS 2009: 33).

¿Una ética del presente o del futuro? Quizá, a la luz de las últimas palabras citadas de HABERMAS, esta alternativa no sea excluyente y se disuelva en un considerar lo futuro para abordar adecuadamente lo presente. En todo caso, es cierto que hay dos líneas bien visibles en la nanoética: una que apunta al hoy y otra al mañana⁵. La primera, quizá más sólida, porque su base lo es,

5. Los términos en que plantea la alternativa el francés Comité Consultivo Nacional de Ética para las Ciencias de la Vida y de la Salud, en su Avis núm. 96 («Cuestiones éticas planteadas por las nanociencias, las nanotecnologías y la salud»), de 1 de febrero de 2007, son muy expresivos: «La cuestión ética del uso de los nanomateriales se puede declinar de dos maneras: una es la de la cuestión filosófica del hombre-máquina, suscitada por los nanosistemas (...). La segunda mucho más urgente es la de la intrusión soterrada de nanopartículas, privilegiando más la realización tecnológica y la rentabilidad comercial que la percepción de sus riesgos potenciales». Es decir: la cuestión del atractivo del hombre-máquina frente a la de la evaluación de los riesgos de las nanopartículas. Dos perspectivas ciertamente distintas.

aborda problemas concretos derivados de los usos actuales de las nanotecnologías. Sucede, en este caso, lo que bien apunta KEIPER, esto es, que no se diferencia significativamente del tratamiento ético de otros desarrollos tecnológicos y, por tanto, lo nanoético se muestra carente de autonomía o de realidad propia. La segunda es una ética de tipo especulativo en la medida en que su base es aún inexistente. Podemos decir que tiene sustancia propia, porque el futuro al que se refiere sí está vinculado específicamente con lo nanotecnológico o, mejor, con determinadas predicciones de lo que el mundo puede llegar a ser según se perfeccionen la nanotecnología y sus productos. Su problema, claro está, es el también identificado por KEIPER: no sabemos a ciencia cierta cómo va a ser ese futuro. Los términos del dilema están, pues, bastante claros: o bien optamos por una ética ajustada a la realidad, pero que en rigor aún no podemos llamar nanoética y que corre el peligro de no anticipar una evaluación normativa que quizá nos sea muy útil; o bien optamos por una ética distanciada del actual desarrollo nanotecnológico, que sí permite esa anticipación, pero que no sabemos si, a la hora de la verdad, tendrá mucho sentido. NORDMANN, abogando por el abandono de esta ética especulativa, se apoya en dos argumentos adicionales: uno, que la reflexión ética es un recurso escaso, de manera que dedicarlo al futuro supone descuidar problemas presentes; y otro, que la nanoética especulativa da por supuesta (y no debería ser así) una concepción de la técnica según la cual ésta puede llegar a modificar ciertos supuestos humanos básicos (por ejemplo, la vulnerabilidad) en vez de limitarse a paliar sus efectos; además, insiste en el argumento básico de KEIPER, esto es, que nuestra capacidad de determinación de ese futuro es muy limitada y que, por tanto, la base de este tipo de reflexión nanoética, y esta misma reflexión son, dice, «ininteligibles» (NORDMANN 2007). Una concepción opuesta de la nanoética es la que deriva de la propuesta ya comentada de Eric DREXLER (DREXLER 2008) o la que informa la propuesta de Bill JOY de abandonar el progreso nanotecnológico (JOY 2007): uno y otro miran al futuro y no al presente. Ni que decir tiene que ni uno ni otro, ni cualquiera de los que practican este tipo de nanoética futurista, están de acuerdo en que ese futuro nanotecnológico no pueda predecirse, ni tampoco en que sea demasiado pronto para evaluar sus consecuencias (de hecho, JOY insiste en que más adelante será ya demasiado tarde). Por supuesto, cabe también tratar de superar el dilema por la vía propuesta por HABERMAS, según la cual reflexionar sobre el futuro permite enfrentarse mejor al presente (ejemplos de ello son PETERSON y HELLER 2007; y TREDER y PHOENIX 2007).

¿Una ética de lo concreto o de lo global? Con lo que llevamos dicho, debe quedar claro que este tercer dilema está asociado con el anterior. Los partida-

rios de una nanoética del presente lo son también de una nanoética de los problemas concretos, aquellos que derivan de los desarrollos y aplicaciones de concretos productos nanotecnológicos ya disponibles o a punto de serlo. Los partidarios de una nanoética del futuro tienden, por el contrario, a lo global, porque su análisis suele partir de una previa configuración de la sociedad nanotecnológica en la que destacan sus rasgos más generales (porque no es posible, o es más aventurado, ofrecer una imagen precisa o concreta de ese futuro), y consiste en un juicio de conjunto de esa sociedad o, como mucho, de cada uno de esos rasgos generales. Lo más que podemos decir aquí es que, en efecto, uno y otro dilema están asociados, y que quienes opten por una nanoética del presente se verán abocados a lo concreto, del mismo modo que habrán de optar por lo global o genérico los que prefieran una nanoética futurista. Para éstos, y a guisa de conclusión del trabajo, se propone esta reflexión del recientemente fallecido Claude LÉVY-STRAUSS:

En esa edad del mito el hombre no era más libre que hoy; pero sólo su humanidad hacía de él un esclavo. Como su autoridad sobre la naturaleza era muy reducida, se encontraba protegido –y en cierta manera liberado– por el almohadón amortiguante de sus sueños. A medida que éstos se transformaban en conocimiento, el poder del hombre se acrecentaba; pero este poder del que estamos tan orgullosos, que nos pone en «posesión directa» del universo, ¿qué es en realidad sino la conciencia subjetiva de una progresiva fusión de la humanidad con el universo físico cuyos grandes determinismos actúan desde entonces, no ya como extraños sospechosos, sino por intermedio del pensamiento mismo, colonizándonos en provecho de un mundo silencioso en cuyos agentes nos hemos transformado? (LÉVY-STRAUSS 1992 [1955]: 445).

BIBLIOGRAFÍA

- ALLHOF, F., 2008, *On the Autonomy and Justification of Nanoethics*, en ALLHOFF y LIN 2008, 3-38.
- ALLHOF, F. y P. LIN, 2008, *Nanotechnology and Society: Current and Emerging Ethical Issues*, Springer.
- ALLHOF, F., P. LIN, J. MOOR y J. WECKERT, 2007, *Nanoethics: The Ethical and Social Implications of Nanotechnology*, Nueva Jersey, John Wiley & Sons.
- BAWA, R. y S. JOHNSON, 2008, «Emerging Issues in Nanomedicine and Ethics», en ALLHOFF y LIN, 2008, 207-223.
- BENNETT-WOODS, D., 2008, *Nanotechnology: Ethics and Society*, Boca Ratón, CRC Press.
- DREXLER, K. E., 1986, *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*, Nueva York, Doubleday.

- 2008, «Nanotechnology: From Feynman to Funding», en HUNT y MEHTA, 2008b, 25-34.
- EINSIEDEL, E. F. y L. GOLDENBERG, 2008, «Dwarfing the Social? Nanotechnology Lessons from the Biotechnology Front», en HUNT y MEHTA, 2008a, 213-221.
- EVANS, D., 2007, «Ethics, Nanotechnology and Health», en TEN HAVE, 2007a, 123-153.
- FEYNMAN, R. P., 1960, «There's Plenty of Room at the Bottom», <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.
- FERRARI, A., 2010, «Developments in the Debate on Nanoethics: Traditional Approaches and the Need for New Kinds of Analysis», *Nanoethics*, On line first, 23 de enero.
- FREITAS, R. A., 2007, «Personal Choice in the Coming Era of Nanomedicine», en ALLHOFF, LIN, MOOR y WECKERT 2007, 161-172.
- GARCÍA MANRIQUE, R., 2008, «El discreto encanto de la seguridad jurídica. Apuntes para una reconstrucción unitaria de la ética de los juristas», *Derechos y libertades*, núm. 19, 37-66.
- GORMAN, M. E., P. H. WERHANE y N. SWAMI, 2009, «Moral Imagination, Trading Zones and the Role of the Ethicist in Nanotechnology», *Nanoethics*, vol. 3: 185-195.
- GORDIJN, B., 2007, «Ethical Issues in Nanomedicine», en TEN HAVE, 2007, 99-123.
- GUSTON, D. H., J. PARSI y J. TOSI, 2007, «Anticipating the Ethical and Political Challenges of Human Nanotechnologies», en ALLHOFF, LIN, MOOR y WECKERT, 2007, 185-197.
- HABERMAS, J., 2009 [2001], *El futuro de la naturaleza humana: ¿hacia una eugenesia liberal?* Barcelona, Paidós.
- HUNT, G., 2008, «The Global Ethics of Nanotechnology», en HUNT y MEHTA, 2008a, 183-195.
- HUNT, G. y M. MEHTA, 2008a, *Nanotechnology: Risk, Ethics and Law*, Londres, Earthscan.
- 2008b, «Introduction: The Challenge of Nanotechnologies», en HUNT y MEHTA, 2008a, 1-10.
- JOY, B., 2007 [2000], «Why the Future doesn't need us», en ALLHOF, LIN, MOOR, WECKERT, 2007, 17-39.
- KEIPER, A., 2007, «Nanoethics as a Discipline?», *The New Atlantis*, núm. 16, 55-67.
- LÉVY-STRAUSS, C., 1992 [1955], *Tristes trópicos*, Barcelona, Paidós.

- MACINTYRE, A., 1984, «Does Applied Ethics Rest on a Mistake?», *Monist*, núm. 67, 498-513.
- MÉNDEZ BAIGES, V., 2010, «Una visita a la falacia naturalista», Manuscrito no publicado.
- MÉNDEZ BAIGES, V. y H. C. SILVEIRA GORSKI, 2007, *Bioética y derecho*, Barcelona, UOC.
- NORDMANN, A., 2007, «If and Then: A Critique of Speculative NanoEthics», *Nanoethics*, vol. 1, 31-46.
- PETERSON, C. y J. HELLER, 2007, «Nanotech's Promise: Overcoming Humanity's More Pressing Challenges», en ALLHOFF, LIN, MOOR y WECKERT, 2007, 57-70.
- PUTNAM, H., 2004, *El desplome de la dicotomía hecho-valor y otros ensayos*, Barcelona, Paidós.
- SANDEL, M., 2007, *Contra la perfección: la ética en la era de la ingeniería genética*, Barcelona, Marbot.
- SCHUMMER, J., 2008, «Cultural Diversity in Nanotechnology Ethics», en ALLHOF y LIN, 2008a, 265-280.
- SILVEIRA, H., 2008, «La legislación biomédica ante la tecnociencia genética», en H. SILVEIRA (ed.), *El derecho ante la biotecnología*, Barcelona, Icaria, 15-46.
- 2010, «La democratización de la investigación biomédica», *Anuario de Filosofía del Derecho*, vol. XXVII (en prensa).
- TEN HAVE, H., 2007a, *Nanotechnologies, Ethics and Politics*, Paris, Unesco.
- 2007b, «Unesco, Ethics and Emerging Technologies», en TEN HAVE, 2007a, 13-35.
- TREDER, M. y C. PHOENIX, 2007, «Challenges and Pitfalls of Exponential Manufacturing», en ALLHOFF, LIN, MOOR y WECKERT, 2007, 311-322.
- WEBER, M., 1975 [1919], «La ciencia como vocación», en Id. *El político y el científico*, Madrid, Alianza.
- ZUCKER, A., 2008, «The Bearable Newness of Nanoscience, or: How Not to Get Regulated Out of Business», en ALLHOF y LIN, 2008, 55-71.

Afilando la navaja de Ockham

ALBERT ROYES

SUMARIO.—I. LA BIOÉTICA Y LAS NANOTECNOLOGÍAS.—II. EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN.—III. LA CUESTIÓN DEL CONSENTIMIENTO.—IV. LAS NANOTECNOLOGÍAS A ESCALA PLANETARIA.

Vaya por delante mi acuerdo con los argumentos y las conclusiones que Ricardo GARCÍA MANRIQUE ofrece en este mismo libro en su Capítulo *¿Necesitamos una nanoética?, en la línea de lo que habían defendido autores como ALLHOF, F.¹ y KEIPER, A.²* para quienes la llamada «nanoética» es una disciplina innecesaria o cuando menos prematura. No reiteraré, pues, lo que ya ha sido expuesto de manera a mi juicio muy acertada. Deseo, en cambio, añadir algunas cuestiones acerca de: a) la Bioética; b) el *principio de precaución* en el caso de las nanotecnologías, c) el consentimiento de los ciudadanos ante la difusión de estas tecnologías emergentes y d) la perspectiva planetaria acerca de las nanotecnologías.

I. LA BIOÉTICA Y LAS NANOTECNOLOGÍAS

Si bien en sus inicios como disciplina autónoma en el ámbito de las éticas aplicadas la Bioética surgió para analizar las cuestiones y conflictos de tipo ético derivados de la moderna biomedicina —de manera especial, a partir de la identificación de los principales conflictos éticos en el campo de la experimentación biomédica con humanos—, muy pronto comenzó a extender su actividad a ámbitos mucho más generales hasta abarcar prácticamente todo el espectro de lo *bio*. También desde sus inicios, la Bioética ha mantenido y ampliado su carácter pluridisciplinar original, incorporando a sus en-

1. ALLHOF, F., «On the Autonomy and Justification of Nanoethics», en *Nanoethics* (2007), 1, 185-210.
2. KEIPER, A., «Nanoethics as a Discipline?», en *The New Atlantis* (2007), 16, 55-67.

foques y objetos de estudio materias y a profesionales que, desde sus respectivas áreas de trabajo, mucho podían aportar a la consolidación de la Bioética. Ello ha permitido que técnicas en su momento emergentes (como la reproducción humana asistida o la producción de organismos genéticamente modificados), líneas de investigación prometedoras (como la investigación con células madre) o procedimientos de investigación más tradicionales (como el uso de animales no humanos en experimentación) pudieran sin especiales dificultades, ni metodológicas ni conceptuales, integrarse en los temas propios de la Bioética. Además, la deliberada sinergia entre la Bioética y los Derechos Humanos ha permitido que las propuestas y los enfoques bioéticos hayan podido concretarse e incorporarse al entramado normativo existente en los diferentes países, en una clara muestra de esta pluridisciplinariedad a que se ha hecho referencia. Sorprende, por lo tanto, encontrar en los debates acerca de la «nanoética» planteamientos que valoran principalmente su carácter pluridisciplinar, presentándolo como algo original y que por sí sólo justificaría la necesidad y la especificidad de esta supuesta nueva disciplina.

Por otra parte, si se tiene en cuenta las enormes repercusiones de diferente tipo que la difusión masiva de los nanomateriales podrían ocasionar, especialmente por su posible toxicidad, en el mundo de lo *bio* en general, una Bioética en su sentido más amplio y transversal está perfectamente legitimada y capacitada para abordar los conflictos, dilemas y repercusiones de tipo ético en los seres vivos a cualquier escala. Justamente por su carácter especialmente complejo, la investigación, la fabricación, la producción y la expansión comercial de las nanopartículas requiere, a la vez, de una tecnología compleja y de una ética compleja más propia de la Bioética que de una restringida «ética de la ciencia y la tecnología», como proponen los defensores de la «nanoética».

¿Constituye en realidad una ventaja que la «nanoética» pueda desarrollarse como disciplina autónoma en «tiempo real», es decir en paralelo con el propio desarrollo de su objeto de estudio, las nanotecnologías? A mi juicio, no. El riesgo de instalarse en la improvisación continuada y a remolque de tecnologías que prometen enormes beneficios a sus fabricantes es muy real y, además, la ausencia de un cuerpo doctrinal propio que permita a la reflexión ética, o ético-jurídica, anticiparse en lo posible a la producción y la difusión generalizada de nanopartículas y de nanomateriales (dados los casi innumerables usos que pueden llegar a tener) condenaría muy probablemente a la «nanoética» a un teoricismo estéril, sin repercusión alguna ni en los investigadores y productores de nanopartículas y de nanomateriales ni en los responsables de tomar decisiones acerca de su utilización. La Bioética,

precisamente por su ya consolidada experiencia y su rodaje a la hora de abordar tecnologías en otros momentos consideradas como emergentes, ofrece un armazón conceptual, argumentativo y metodológico suficiente y que permite, sin alarmismos ni reticencias que nada aportan a la reflexión y al diálogo interdisciplinar, enmarcar los retos de las nanotecnologías, como en su día ocurrió con otras innovaciones tecnológicas punteras³.

II. EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN

La evaluación de riesgos, los presentes y los posibles, y su conceptualización mediante el «principio de precaución» se ha incorporado recientemente al cuerpo de la Bioética⁴. Sin embargo, su concreción en el caso de los nanomateriales no es evidente. La consideración, la evaluación y la prevención de peligros no son procesos idénticos y su encadenamiento lógico exige tener en cuenta aspectos diferentes de una misma realidad, por una parte, y diferenciar entre lo que se sabe y lo que sólo cabe suponer, por otra.

Pero el problema principal en el abordaje de los riesgos, y su posible disminución, en el caso de la producción y amplia utilización de productos o materiales que incorporan nanopartículas, es que se sabe muy poco acerca de esos riesgos. A mi parecer, las razones de este escaso saber son esencialmente dos:

a) Aunque las propiedades de los elementos a escala macro y micro son por lo general conocidas, las propiedades de esos mismos elementos, y los materiales que con ellos se fabrican, cuando se manipulan a escala nano son completamente diferentes y poco se conoce de sus posibles riesgos tanto a nivel físico, como químico o biológico; es decir, que la «nanoseguridad» es un campo donde lo desconocido excede con mucho a lo conocido o incluso a lo previsible. Ello constituye un problema acuciante, en especial en lo que afecta a los investigadores o a los trabajadores que de una u otra forma manipulan o están en contacto con nanopartículas y nanomateriales, en su aplicación mediante la llamada nanomedicina y, de manera general, en los ciudadanos-consumidores de productos que incorporan nanotecnologías; la salud laboral y la salud pública carecen, hoy por hoy, de suficientes conocimientos y de procedimientos para evaluar y prevenir los riesgos, con la ventaja, por así decirlo, de que, al menos en lo que respecta a la nanomedicina, ya existen principios y criterios éticos en los que basarse para adoptar conductas de precaución ante

3. HERMERÉN, G., «Challenges in the Evaluation of Nanoscale Research: Ethical Aspects», en *Nanoethics* (2007), 1, 223-237.

4. BUXÓ, M. J. y CASADO, M., *Riesgo y precaución*, Barcelona (2005), Publicacions de la Residència d'Investigadors, núm. 25.

probables riesgos para la salud, principios y criterios procedentes de la Bioética. El uso de productos de nanotecnología para el diagnóstico o tratamiento de enfermedades deberá seguir el mismo procedimiento de evaluación que cualquier otra tecnología, fármaco o producto sanitario, atendiendo de manera especial a que el balance riesgos/beneficios sea claramente favorable a estos últimos y que los pacientes o los usuarios sean correctamente informados de los mismos, cuestión sobre la que volveré más adelante.

b) La ausencia de estudios solventes, realizados por organismos reguladores o por expertos realmente independientes de los fabricantes de productos *nano*, que analicen los posibles riesgos de dichos productos para la salud de las personas. Una vez más, el argumento de que no se ha demostrado su toxicidad sirve como pretexto para inferir que no existe riesgo alguno o que dichos riesgos son mínimos en comparación con los beneficios que se supone que aportan. Ocurre, sin embargo, que lo que en buena lógica habría que demostrar es la ausencia de riesgos, o el grado de los mismos, para que sean los ciudadanos quienes puedan decidir, con mayor conocimiento de causa, acerca de su producción y de su utilización. En definitiva, lo que hay que probar es que no son tóxicos, no que no se sabe que lo sean. Se repite, pues, la historia de los organismos genéticamente modificados (coloquialmente llamados transgénicos) para el consumo humano o animal. El generalizado interés de los investigadores y trabajadores de las industrias *nanotech* por los aspectos éticos en relación con las nanotecnologías puede entenderse como una muestra de preocupación por los riesgos reales de las mismas y por sus efectos en la salud de la población. Es ciertamente interesante que la percepción del riesgo comience precisamente entre quienes más implicados están en la investigación, el desarrollo y la producción de materiales con nanopartículas, en especial por lo que puede significar de crisis del paradigma de la «neutralidad» de la ciencia⁵.

Además, parece repetirse también lo ocurrido con la fabricación y la comercialización de medicamentos, en el sentido de que se atribuye a la propia industria la responsabilidad de realizar estudios que analicen y valoren los posibles riesgos, dando por supuesto que nadie dudará de los resultados que decidan presentar que, por lo general, serán sólo aquellos que sean favorables a sus intereses comerciales. Poner a un zorro de guardián del gallinero no suele dar buenos resultados, salvo que lo que se desee conocer sea únicamente cuántas gallinas hiere, mata o devora y a qué ritmo lo hace.

5. MCGINN, R., «Ethics and Nanotechnology: Views of Nanotechnology Researchers», en *Nanoethics* (2008), 2, 101-131.

El ejemplo reciente (abril de 2010) del cierre del espacio aéreo de la mayor parte de los países de Europa occidental a consecuencia de las cenizas volcánicas lanzadas por la erupción del volcán islandés Eyjafjallajökull puede interpretarse bien como un ejemplo de una correcta aplicación del principio de precaución, o bien como una interpretación exagerada, por extrema, de este mismo principio. Pero lo que seguramente más ha sorprendido a los ciudadanos es la ausencia de estudios acerca del posible riesgo que este tipo de cenizas pueden tener en las turbinas, el fuselaje u otros componentes de los aviones, sobre todo porque ya ha habido anteriormente importantes incidentes en situaciones similares, si bien ocurrieron en zonas del planeta alejadas del hemisferio norte. A falta de suficientes estudios de este tipo, cualquier evaluación de los riesgos y peligros es puramente especulativa y está abierta, por consiguiente, a las interpretaciones más dispares.

III. LA CUESTIÓN DEL CONSENTIMIENTO

Retomemos los interrogantes del apartado anterior de una manera más precisa: ¿Qué sabemos acerca de los riesgos que para la salud y la seguridad de los seres vivos pueden suponer las nanopartículas y los nanomateriales? La incipiente *nanotoxicología* no puede ayudar a responder de manera clara a este interrogante porque poco se sabe acerca de las interacciones de las nanopartículas con los organismos biológicos, precisamente por el hecho de que las propiedades de los elementos a escala *nano* pueden diferir sustancialmente de las que nos son habituales. Retomando el aforismo atribuido a PARACELSO, *la dosis hace el veneno*, ahora debemos añadir que no sólo la dosis (o sea, la cantidad) sino además su dimensión (su característica *nano*) pueden ser causa de toxicidad. La extrapolación a partir de lo que sabemos acerca de elementos o materiales a escalas *no-nano* no debe considerarse una buena base para predecir su comportamiento y sus interacciones a escalas *nano*. Materiales que son inertes a escala macro pueden ser reactivos a escala *nano*, lo cual es precisamente lo que produce sus originales e interesantes propiedades, pero también puede incrementar los riesgos en general y la toxicidad⁶ para los seres vivos en particular, aunque este último elemento sea por lo general obviado o simplificado⁷.

6. OBERDORSTER, G. *et al.* (2005), «Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles», en *Environ Health Perspect*, 113 (7), 823-839.

MONASTERSKY, R. (2004), «The dark side of the small», en *Chron High Educ*, 51 (3), A12-A15.

7. Éste es el caso de la publicación *BigPicture on Nanoscience*, Wellcome Trust, núm. 2, junio de 2005.

Esta enorme incógnita es, precisamente, lo que ha llevado a la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEM) a exigir, en aplicación del principio de precaución y en base a la posibilidad de que los nanomateriales ocasionen daños significativos para los humanos y para el medioambiente, que se tomen medidas reguladoras antes incluso de que existan las primeras evidencias de este daño. Según la citada Agencia, los nanomateriales podrían constituir una clase completamente nueva de contaminantes no-biodegradables extremadamente peligrosos⁸. Por razones análogas, ya en 2003 el ETC-Group solicitó una moratoria de la fabricación de nanomateriales hasta que se tuviera más información acerca de su interacción con los seres vivos⁹.

Ante esta incertidumbre, el debate público acerca de los beneficios y los riesgos de las nanopartículas y los nanomateriales es inevitable. Este debate debe abordar, para empezar, el marco ético general para que puedan tomarse decisiones acerca del balance beneficios/riesgos de las nanotecnologías y la posible nanotoxicología asociada. Para que, llegado el caso, los ciudadanos aceptaran ciertos niveles de riesgo, su consentimiento debe considerarse un factor decisivo, consentimiento que los responsables políticos y los expertos en tecnologías deben promover y facilitar en sus respectivos países o en organismos supranacionales. De nuevo la analogía con la Bioética aplicada a la biomedicina resulta procedente y ejemplarizante. La introducción de nanomateriales como medios de diagnóstico o de tratamiento, así como su carácter experimental, debe ser algo conocido y aceptado por las personas a quienes se les proponga su aplicación. Pero, también de nuevo, tropezamos con el escollo ya citado en apartados anteriores, a saber que ni los propios expertos conocen suficientemente acerca de los riesgos a que pueden verse sometidos determinados pacientes, o los consumidores de productos *nano*, o los seres vivos en general.

Salir de este dilema puede ser posible si se toman decisiones firmes en cuanto a: a) invertir suficientes fondos en programas que estudien el impacto medioambiental y en la salud de las nanotecnologías, en especial su posible toxicidad; b) que se eviten los conflictos de intereses que muy probablemente se originarían si dichos estudios los financian y los llevan a cabo las propias empresas productoras de nanomateriales; c) los productos que contienen nanomateriales deben incluir esta circunstancia en la etiqueta informativa al consumidor, y d) a medida que se conozcan datos acerca de los posibles riesgos de nanomateriales debe regularse su fabricación y su uso, en vez de dar por sentada su no-toxicidad.

8. AEM: <http://www.eea.europa.eu/es>.

9. ETC GROUP: <http://www.etcgroup.org/es/principal>.

IV. LAS NANOTECNOLOGÍAS A ESCALA PLANETARIA

Desde que *Médicos sin Fronteras* publicó en 2001 el informe titulado *Desequilibrio fatal*, en el que mostraba que únicamente el 10% de la investigación sanitaria mundial (realizada por gobiernos, universidades y empresas) para la producción de medicamentos se dedica a enfermedades que sufren el 90% de la población (hecho que se conoce desde entonces como *desequilibrio 10/90*), una nueva conciencia acerca de las desigualdades e injusticias a escala planetaria empezó a emerger, esta vez con cifras en la mano y no como una cuestión meramente ideológica. ¿Puede llegar a pasar algo parecido con la fabricación y la difusión de materiales basados en nanotecnologías? Lo más probable es que dicho desequilibrio ya se esté produciendo en la misma medida en que los nanomateriales salen al mercado y, claro, por la misma razón, es decir para maximizar los beneficios económicos para las empresas fabricantes de nanomateriales y así amortizar y rentabilizar lo antes posible su inversión en investigación y desarrollo (I+D). Eso es a lo que algunos autores llaman *la dimensión contextual* de los problemas éticos relacionados con las nanotecnologías¹⁰, dimensión a la que los actuales estudios sobre «nanoética» suelen prestar escasa atención.

No es ningún secreto insistir en que la creciente globalización del mercado de productos y de inversiones no impide en absoluto la concentración de la riqueza en los países más desarrollados, quienes siguen detentando el mayor número de patentes, fruto de su mayor capacidad de inversión en I+D en general y en nanotecnologías en particular¹¹. Aunque la fabricación de materiales que incorporan nanotecnologías tiene lugar cada vez más en países poco desarrollados económicamente, los nanocomponentes propiamente dichos son generados en países desarrollados que venden sus patentes a los primeros. El caso de los productos textiles que incorporan nanomateriales es posiblemente el ejemplo que muestra con mayor evidencia esta dependencia.

De continuar así este proceso, las nanotecnologías contribuirán a incrementar la desigualdad entre países más y menos desarrollados, con el agravante de que posibles aplicaciones *nano* que podrían contribuir a solucionar

10. FOLADORI, G., INVERNIZZI, N. y ZÁYAGO, E., «Two Dimensions of the Ethical Problems Related to Nanotechnology», en *Nanoethics* (2009), 3, 121-127.

11. Véase el informe del ETC-Group *Nanotech's «second nature» patents: Implications for the global south*, mayo-junio 2005.

problemas reales de los ciudadanos de zonas subdesarrolladas del planeta, no recibirán ni la atención ni mucho menos las inversiones necesarias. Una vez más, las «reglas del juego» del sistema económico dominante es probable que conduzcan a que las posibles buenas intenciones queden eclipsadas por la búsqueda codiciosa de los mayores beneficios en el menor tiempo.

SECCIÓN III

SOBRE LOS ASPECTOS ÉTICO-JURÍDICOS Y
SOCIALES

Nanodiálogo: la comunicación y la implicación pública en los avances nanobiotecnológicos

MARIA JESÚS BUXÓ I REY

SUMARIO.—I. REFLEXIVIDAD DIALÓGICA.—II. ESCENARIOS DE FUTURO VS. ESCENARIOS DE PRESENTE.—
BIBLIOGRAFÍA.

Si desde MERTON (1973) y KHUN (1977) eran las ciencias sociales las que insistían en discutir la construcción cultural de la ciencia, ahora la vinculación ciencia-sociedad ha pasado a ser una premisa de partida y un territorio donde entender y debatir públicamente qué sucede y qué está cambiando, y en qué dirección hay que orientar las decisiones y las prioridades relativas a las innovaciones tecnocientíficas, la aceptación de los riesgos o, en su caso, la aplicación de principios de precaución.

Implicar la ciencia en los problemas de la sociedad ha sido una contribución más reciente de las teorías del riesgo (BECK, 1992, GIDDENS, 1991) y las teorías simétricas (LATOUR, 1992), así como las etnografías de laboratorio (WOOLGAR, 1991). Estos enfoques han abierto el interés y la preocupación por entender cómo la ciencia y la tecnología no son sólo sistemas de conocimiento y patentes industriales, sino culturas en acción profundamente insertas en el sistema social, como lo han sido tradicionalmente la religión, la familia y la economía. Tal es su poder simbólico en el imaginario colectivo, su imbricación en la resolución experta de problemas, su valor añadido en productos comerciales y en la definición de la calidad de vida, que la ciencia y la tecnología han pasado a ser, siguiendo la terminología de SAHLINS (1988), el locus institucional clave de la producción simbólica tanto en los sistemas expertos como en los estilos de vida, hasta el extremo de constituir moda (Buxó, 2004). No sólo añade valor a los productos de consumo y tiene mayor visibilidad social en los medios de comunicación, sino que se ha densificado en las decisiones políticas cada vez más referenciadas en los sistemas expertos

para resolver los problemas. Y ahora, en el marco definitorio de la democracia deliberativa, la ciencia y la tecnología se abren a la participación ciudadana.

En los años 60, Margaret MEAD hacía notar con preocupación la creciente alienación del público respecto a la ciencia y los científicos. Sugería un proceso esquizmogénico que sólo cesaría al descubrirse nuevos instrumentos educativos y comunicativos capaces de cubrir la separación de los practicantes de las ciencias y las humanidades con el común de la gente. Ciertamente, el requerimiento de traducir el conocimiento experto o transferirlo a la comprensión pública no es reciente, aunque este olvido se ha hecho notar más por el carácter extraordinario de los avances científicos, en especial el proyecto Genoma Humano. El portentoso potencial de sus aplicaciones con células embrionarias y transgénicas ha producido toda suerte de reacciones sociales mayormente asociadas a la percepción de riesgos, por no decir alarmas, aun cuando la finalidad de estas experimentaciones y sus aplicaciones sea con fines terapéuticos y alimentarios.

Estas percepciones negativas fueron avivadas por las organizaciones no gubernamentales ecologistas y de consumidores y difundidas por los medios de comunicación y las webs, llegando a la ciudadanía en forma de posicionamientos ideológicos y religiosos, pero sin aportar los recursos informativos necesarios para una implicación pública capaz de entrar en el debate. Asimismo, las instancias políticas y agencias gubernamentales tardaron en reaccionar de manera que, entre dudas y presiones, tendieron a recurrir a soluciones dilatorias en nombre del principio de precaución y moratorias en líneas de investigación o sectores de la producción industrial y la comercialización, o simplemente dejarlo en manos de la lentitud del proceso de reglamentación.

Este principio de siglo, sin embargo, ha aportado un cambio de rumbo en la dirección de implicar a la sociedad civil en la corresponsabilidad de dirimir prioridades y tomar decisiones sobre los riesgos y esto ha supuesto abrir el bastión o la caja negra de la ciencia para preguntarse por los resultados, los errores, los conflictos de interés, las finalidades y los límites de la investigación y sus aplicaciones. Reconocer, por lo tanto, el substrato socio-cultural de todo sistema de conocimiento, los valores, intereses y conflictos que pueden guiar el diseño y los procesos de investigación, la priorización de los enfoques y proyectos, la asignación de fondos y recursos así como las evaluaciones de riesgos que no sólo afectan los criterios de admisión de las patentes sino también los procesos de investigación e industrialización. Todo ello cuestiones bioéticas que se enmarcan en el análisis de las implicaciones

éticas, sociales y jurídicas de la ciencia y la tecnología y que encuentran apoyaturas en la Antropología cuando se trata de reflexionar y discutir sobre las relaciones entre naturaleza y cultura pero también la contraposición entre universales éticos y el relativismo cultural, la correlación entre la identidad cultural y la dignidad humana así como la complejidad intercultural y las desigualdades en el marco de la globalización.

Esto concurre con la expansión de un territorio tan complejo como la nanotecnología, una plataforma tecnocientífica en la que convergen la física, la electrónica, la óptica, la química, la ciencia de los materiales, la robótica, la medicina, y otras, para investigar materiales y desarrollar productos a escala nanométrica con el fin de mejorar, remediar y asegurar soluciones más precisas y sostenibles en el ámbito de la salud, la energía y el medio ambiente.

La mayor parte de la bibliografía sobre nanociencia y nanotecnología invita a reflexionar sobre la miniaturización de los materiales y los dispositivos con el fin de manipular y ensamblar los átomos y las moléculas en disposiciones precisas, organizarlos en diferentes combinaciones y activarlos como superficies, nanotubos y nanopartículas. Y así desarrollar aplicaciones industriales diversas en forma de nanosensores y nanodispositivos para la detección de elementos químicos en el ambiente y sistemas de diagnóstico –imagen molecular– así como nanopartículas y nanotubos para dispensar fármacos o realizar implantes.

A nanoescala, muchas de las propiedades de los materiales al igual que las prestaciones en forma de dispositivos y sensores, sus reacciones químicas y eléctricas así como sus efectos cuánticos en conducta óptica y magnética, son todavía un campo experimental. De ahí que la identificación y la definición de los riesgos biomédicos y de bioseguridad no sean tareas fáciles por lo cual se generan incertezas sobre los riesgos eventuales en la salud humana por toxicidad o la supresión de respuestas inmunológicas, así como en la privacidad personal por la intrusión de los nanodetectores.

Además, estos avances aportan nuevos retos, como la invisibilidad de los nanodispositivos y nanoproductos y la biocompatibilidad de los nanomateriales orgánicos e inorgánicos, cuya incompreensión incrementa la complejidad de la percepción del riesgo, y por ende la aceptabilidad por parte de la ciudadanía. De ahí que se produzca uno de los fenómenos más interesantes de la sociedad de riesgo, y es que la propia ciudadanía, por no saber y temer, se convierta en un riesgo, lo cual es descrito en la editorial de la revista *Nature, Nanotechnology* (2007) así: los gobiernos y las agencias reguladoras deben enfrentarse a problemas complejos porque el riesgo no son las nanopartículas sino la reacción del público contra la nanotecnología. Y lo es, no

tanto por ignorar la complejidad de la nanociencia y la nanotecnología, sus aplicaciones y productos industriales, sino porque su aceptabilidad como mercado potencial es clave para compensar las inversiones millonarias, públicas y privadas que financian la investigación y el desarrollo nanotecnológicos en los países más desarrollados del mundo.

Ciertamente, la Comunidad Europea se ha volcado en promocionar en sus programas marco, VI y VII, estudios y redes de expertos dedicadas no sólo a identificar problemas probables y evaluar los riesgos, sino a desarrollar proyectos que faciliten a la ciudadanía acceder y adquirir estos conocimientos. Y con ello sentar las bases para impulsar el nanodiálogo.

Desde la perspectiva de la comunicación del conocimiento se han desarrollado diversas metodologías y actividades participativas: conferencias, exposiciones e instalaciones interactivas sobre nanotecnología en facultades y en museos de la ciencia, así como abrir las puertas de los laboratorios a escolares y diferentes grupos de edad y dinamizar actividades en escuelas y centros cívicos mediante talleres científicos. En definitiva, generar aprendizajes con juegos y presentaciones interactivas y a la vez activar actitudes que animen a expresar comentarios y relatos y, posteriormente, la realización de encuestas. Sin olvidar otros proyectos como la formación de los que realizan estas actividades, por ejemplo, los Trams: *training and mentoring of science shops*. En estas actividades no sólo se adquieren conocimientos, sino que se obtienen narrativas de gran valor etnográfico para extraer suspicacias y preocupaciones que pueden facilitar o bloquear el diálogo y también evaluar la adquisición de criterios para fundamentar el rechazo o la aceptabilidad públicas.

Sin duda, la alfabetización científica permite ser un ciudadano más activo y efectivo, pues comprender la ciencia incrementa la capacidad para opinar y ejercer sus derechos democráticos. Aunque ligadas, una cosa es la transferencia de conocimiento y la comunicación que forman opinión y otra la participación pública que implica ser capaz de debatir y tomar decisiones, y ahí es donde entra el nanodiálogo como una puerta abierta a la democracia participativa en una sociedad del conocimiento. Participar y colaborar con el nanodiálogo requiere ejercitar la reflexividad no sólo sobre las razones o los intereses que lo propugnan, las condiciones iguales o asimétricas a las que quedan sujetas la acción de las partes, sino también sobre los argumentos que se esgrimen para tratar los beneficios y los riesgos, así como las metodologías que se proponen para finalmente conseguir los criterios y razonamientos que permitan argumentar y tomar decisiones. Trabajar estas cuestiones nos da a entender lo fácil que es proponer el diálogo y la dificultad de darle contenido y viabilidad, pero también nos ayuda a pensar que conviene enfo-

car el dialogo desde otra perspectiva, considerar la transferencia de conocimiento más allá de la ciencia estricta para que la información contribuya a generar una reflexión sobre la construcción de valores económicos, legales y éticos. Y sobre esta base identificar problemas que se puedan contestar, evitar expectativas inconducentes y, finalmente, adquirir criterios y argumentos para ser capaz de llegar a participar en encuestas, debates y deliberaciones.

De ahí que sea relevante preguntarse ¿cuánto se tiene que profundizar en esos conocimientos y en qué tipo de conocimientos para poder tomar decisiones y ser efectivo para seguir metas correctas y descartar propagandas científicas irrelevantes? ¿hasta qué punto el participar en el nanodiálogo va a influir en la gestión de las políticas públicas y en priorizar líneas de investigación y desarrollar productos de acuerdo a prioridades socialmente definidas? ¿Por qué y para quién es clave o más apremiante la apertura al diálogo público? ¿Por qué las instituciones de investigación y las políticas científicas de la Comunidad Europea tienen tanto interés en invitar a la ciudadanía a dialogar e invierten tantos fondos públicos con ese fin?

Ciertamente, se puede pensar que la invitación a dialogar es una forma de dar confianza a la sociedad en general a la vez que implica cumplir con la disposición o exigencia democrática de instar a las instituciones y sus políticas de investigación que sean transparentes y responsables. También cabe pensar en que sirve para dar confianza a los expertos que dependen de la financiación pública, o a las iniciativas privadas cuyas inversiones requieren conquistar la aceptación pública. Y, para no dejar dudas en el aire también cabe suponer que esta invitación al diálogo constituye una apropiación discursiva en la dirección de hacer resaltar los beneficios y con ello orientar la aprobación, el consentimiento, o en breve, la manipulación de la aceptabilidad pública.

En definitiva, evitar el déficit democrático sobre la base de vincular ciencia y sociedad no es tarea fácil, como bien advertía Barbara CULLITON en 1979 (1985):

«Public participation is not dangerous for the scientific enterprise. It's time consuming and it is likely to lead to restraints that previously were not imposed. Nevertheless the restraints that come from ethical considerations cannot be dismissed as inappropriate. In any case, they are part of the social cost of democracy».

I. REFLEXIVIDAD DIALÓGICA

En 2007, en la conferencia final del Proyecto Nanodialogue, financiado por la DG Research de la Comisión Europea dentro del VI Programa Marco y en preparación del VII, mi participación se orientó a debatir los intereses que rodean el nanodialogo y a considerar los problemas conceptuales y metodológicos que pueden favorecer o bloquear el desarrollo del mismo¹.

En la observación etnográfica de diferentes actividades, presentaciones y debates sobre la realidad nanotecnológica dentro del proyecto de investigación «Implicaciones Bioéticas, Jurídicas y Sociales de las Nanotecnologías» del Observatorio de Bioética y Derecho², se puso de manifiesto que uno de

1. La esquimogénesis es un proceso de diferenciación en el que las reglas de comportamiento individual resultan de un conjunto de interacciones y reacciones acumulativas entre individuos.
2. **Brussels, European Parliament,**
5th of February, 2007
Nanotechnologies and nanosciences: a discussion on ethical, legal and social aspects
EUROPEAN COMMISSION *promoted by the*
DG Research European Commission and organised by the NanoDialogue Consortium
9.30 – 11.00 FIRST SESSION – The Nanodialogue project: contents, activities, results
chair
Catherine Franche, Executive Director, ECSITE
speakers
Luigi Amodio, Director of Fondazione IDIS-Città della Scienza, Naples, Italy
Andrea Bandelli, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands
Alison Mohr, CSD, University of Westminster, London, UK
11.30 – 13.30 SECOND SESSION – Nanotechnologies and their implications in Society
chair
Umberto Guidoni, Member of the European Parliament
Speakers
Bengt Kasemo, Professor of Physics, Göteborg University, Sweden
Alfred Nordmann, Professor of Philosophy, University of Darmstadt, Germany
Massimiano Bucchi, Professor of Sociology of Science, University of Trento, Italy
Wolfgang Heckl, Director of the Deutsches Museum, Munich, Germany
13.00 – 13.30 KEYNOTE SPEECH
Philippe Busquin, Member of the European Parliament, Chairman of STOA (Scientific Technical Options Assessment)
15.00 – 17.00 THIRD SESSION – Round table on Nanotechnologies today and tomorrow: current research and possible future concerns
chair
Renzo Tomellini, Head of Unit, Nano and Converging Science and Technologies, European Commission
speakers
Maria Jesus Buxo i Rey, Professor of Social and Cultural Anthropology, University of Barcelona, Observatory Bioethics and Law, Barcelona Science Park, Spain
Dominique Grand, MINATEC, Commissariat à l’Energie Atomique, France

los aspectos que menos contribuye a la reflexión es el uso abusivo de la dicotomía beneficio-riesgo para enmarcar los objetivos y los resultados probables de estos proyectos tecnocientíficos ya que, como en todo sistema clasificatorio, se llenan de valores opuestos, incluso en contradicción. Y si se examina el contenido de los artículos, las exposiciones y las presentaciones públicas, el discurso sobre las nanotecnologías discurre generalmente como un sistema contable: control *versus* resultados accidentales, mejorar las condiciones de vida *vs* introducir mecanismos incontrolables, autonomías *vs* dependencia tecnológica, mejora de las condiciones de vida *vs* distribución irregular de los medios. Incluso los objetivos científicos parecen navegar entre indagar sobre fenómenos emergentes y complejos cuyo control es difícil de establecer *vs* la oferta de innovaciones caracterizadas por la simplicidad, la precisión y el control.

Con esto quiero decir que, por la propia naturaleza de la investigación en nanociencia y nanotecnología, innovadora en propuestas pero joven en resultados, es difícil identificar o delimitar los riesgos. Y, en este sentido, basta revisar la mayor parte de los informes y documentos que advierten pero no precisan riesgos o efectos secundarios, puesto que lo que es evaluable como la toxicidad, la trazabilidad del ciclo de vida y la biodegradación de los nanomateriales, a su vez depende de factores múltiples incluyendo el tamaño, la superficie, la composición química, la forma, la agregación, la cobertura y la solubilidad así como de las diferentes formas de biointeractividad sea por polución, crónica o esporádica, y por exposición o transporte dérmico, gastrointestinal, pulmonar, celular, y ya en el sistema circulatorio llegar a cruzar la barrera hematoencefálica.

Así, son limitaciones para establecer la identidad o la especificidad del riesgo nanotecnológico la complejidad de factores que concurren en la toxicidad, las limitaciones experimentales, pero también la dispersión entre disciplinas y subcampos y la carencia de una convergencia en las metodologías y los co-laboratorios entre instituciones de investigación y los parques empresa-

Wolfgang Heckl, Director of the Deutsches Museum, Munich, Germany

Simon Joss, CSD, University of Westminster, London, UK

Doug Parr, Chief Scientist, Greenpeace UK

Vinod Subramaniam, Professor of Biophysical Engineering, University of Twente, The Netherlands

17.00 – 17.30 CONCLUSIONS

Peteris Zilgalvis, Head of Unit, Governance and Ethics, European Commission

Nicholas Hartley, Director of Directorate G Industrial Technologies, European Commission

Proyecto Implicaciones Bioéticas, Jurídicas y Sociales de las Nanotecnologías. Investigadora principal María CASADO, Ref. SEJ2007-61210/JURI.

riales, entre países y a escala global, en la evaluación transversal de riesgos desde la experimentación hasta la producción³. No contemplar adecuadamente la complejidad de estas inconexiones cuya solución depende en gran medida de la transversalización de la información para redimensionar y vectorizar las evaluaciones con bases de datos cruzados⁴, la información dicotomizada se encalle en un discurso que va de los beneficios exagerados a los riesgos inespecíficos y, a lo peor, transita hacia la ciencia ficción.

En la experiencia etnográfica que ofrecen las opiniones y los debates, enfrentarse a problemas complejos en términos dicotómicos induce a producir formas restrictivas de identificar los problemas y de posicionarse. Ciertamente, oponer para visualizar las contradicción es un clásico de la crítica epistemológica pero, en un debate, por vivo que sea, si se reducen los argumentos a posiciones antitéticas en defensa de los valores y las actitudes respectivas, las viejas ideas y las posiciones irreconciliables terminan arrastrando a los participantes y llevados a lo peor, a liquidar el diálogo en forma de fatalismo o conspiración.

La cuestión es, entonces, ¿cómo liberarse de este patrón y buscar una aproximación más interactiva y progresiva? Precisamente, en el territorio nano se rompen muchas distinciones entre ciencia y tecnología y entre disciplinas, y la escala nanométrica produce nuevas propiedades, sistemas, funciones, instrumentos y manipulaciones. Por lo tanto, es recomendable introducir puntos de partida más ambiguos, simétricos y transitivos que activen la idea que donde hay luz y objetos, hay sombras.

Conviene así incorporar la ambivalencia y la incerteza, por no decir el error, como parte de la construcción de este conocimiento científico y sus aplicaciones, lo cual no resulta tan raro cuando nos enfrentamos a otros sistemas complejos como son la economía, la religión y las relaciones familiares. Esto implica reconocer la simetría entre sustancia y accidente que, visto en términos de VIRILIO (1997), nos invita a pensar que inventar el tren, el coche y el avión, es a la vez inventar las colisiones y las catástrofes. Así, es clave incorporar a la información y al diálogo el hecho que cada adelanto

3. Algunos países ya se toman medidas para estandarizar y regular los nanomateriales y la nanopartículas en instituciones como la *American National Standards Institute* (ANSI) el *International Council on Nanotechnology* (ICON), la *International Organization for Standardization* (ISO) y la *US Environmental Protection Agency* (EPA).
4. Esta web instrumental, <http://icon.rice.edu/research.cfm>, permite realizar una sinopsis rápida de una base de datos sobre el ambiente, la salud y la seguridad usando dos tipos de análisis, distribución simple, y distribución progresiva, sobre materiales a nanoescala, en referencia a artículos y abstracts de revistas e informes realizado por investigadores de Rice University, el US Department of Energy y la industria química.

científico y técnico trae consigo el accidente como posibilidad y desarrollar nanodispositivos y nanopartículas es adquirir riesgos particulares. Por lo tanto, todo eufemismo o encubrimiento, o incluso buscar reglas de evitación o refugiarse en principios de precaución *per se*, no producen automáticamente más seguridad.

Los teóricos de la cultura del riesgo (DOUGLAS, 1996) distinguen peligro y riesgo, mientras el primero sobreviene, el segundo forma parte de la elección y la decisión. De ahí que los repertorios de riesgo sean consubstanciales a la nanotecnología, y la negociación del riesgo una estilo de vida para la gestión saludable del cuerpo, la sustentabilidad y la seguridad. Y, justamente, en esa negociación del riesgo entra el nanodiálogo como un sistema de aprendizajes que se elabora sobre la base de explicitar ideas, suposiciones y temores que incluso pueden llegar a poner en duda las razones que promueven el dialogo y la participación. El problema no es que existan intereses y motivaciones, sino que se ignoren y no formen parte de las implicaciones sociales, éticas, económicas y jurídicas de los avances y desarrollos nanotecnológicos.

Esto nos devuelve a la cuestión previa sobre en qué sentido es ventajoso para la investigación en nanociencia y la nanotecnología promocionar una mayor comprensión y participación públicas cuando a la vez se contempla como un riesgo. Evitando la oposición y activando la transitividad, cabe barajar que el poder económico en mercados de base tecnológica dependen de la excelencia científica, que depende a su vez del apoyo público para asegurar la costosa financiación de las investigaciones, lo cual depende a su vez de la comprensión y las preocupaciones públicas que van a tener que tomarse seriamente si los productos resultantes tienen que ser aceptados en el mercado. Por lo tanto, hay que promocionar la comprensión de las nanotecnologías y el dialogo público para crear y mantener la demanda de futuros consumidores.

Pero, este sistema de dependencias no resume ni acaba con el nanodiálogo como una forma de subsanar el déficit democrático en la vinculación entre ciencia y sociedad.

II. ESCENARIOS DE FUTURO VS. ESCENARIOS DE PRESENTE

En documentos diversos procedentes de centros de investigación, organizaciones y agencias de la Comunidad Europea, en su gran mayoría propiciados por ELSI, se recomienda un tratamiento prospectivo para animar el nanodiálogo usando la simulación y la ficción como recursos metodológicos

en cuanto permiten explorar y evaluar escenarios de futuro. Ciertamente, el aura de la ficción nanotecnológica es tan atractiva que los expertos encuentran gusto en construir ciencia ficción para acompañar sus argumentos de venta en la propuesta de proyectos, pero también en la retórica que de sus investigaciones distribuyen los medios de comunicación.

Los nanorobots, los nanonavegadores y su capacidad inmersiva en los flujos corporales son ingredientes suficientes para desatar la imaginación, incluso cuando el experto pretende luchar contra lo que se podría sobrentender como parte ficticia o irrealizable del proyecto. Esto es una advertencia en el texto de Eric DREXLER, *Engines of Creation* (1986), pero todavía es más notorio en las explicaciones del premio Nobel, Richard SMALLEY, cuando quiere aclarar la imposibilidad de que los nanoviscosos, los *gray goo*, se autorepliquen *ad infinitum*. Dice así (2001, 77):

«imaginen un nanorobot versátil que pudiera construir cualquier cosa, siempre y cuando tuviera la cantidad adecuada de átomos, una fuente de energía y un conjunto de instrucciones. Si pudiera construir algo, sólo haría una copia de sí mismo, autoreplicarse como las células biológicas. Y si suponemos que se pudieran copiar ad infinitum, en clonación furiosa, cada nanorobot tiene solamente un billón de átomos de manera que un ejército masivo sólo pesaría treinta gramos. Quién sabe si tendrían formas de vida parasitaria, si mutarían y quién los controlaría en el caso de que no supieran autodestruirse. Más terrible sería que desarrollaran la habilidad de comunicarse entre ellos y llegasen a formar grupos como un sistema nervioso primitivo, quizás penetrando la vida, y entonces, sin duda, el futuro no nos necesitaría».

Obviamente, la mezcla de ficción y datos científicos produce espléndidos escenarios de futuro que resultan fascinantes a todas las edades, sin mencionar el aprecio de los medios de comunicación. Sin embargo, en el nanodialogo tienden a distorsionar los datos y generar inconsistencias en los argumentos de un modo semejante a los inconvenientes que la introducción de variables utópicas produce en los modelos prospectivos, lo cual inutiliza todos los indicadores.

Por ello, si bien los escenarios prospectivos son una buena metodología para despertar la conciencia y alimentar la discusión, no obstante, una contextualización inadecuada hace que se introduzcan valores inconducentes que remiten a viejas ideas morales y a personajes heroicos. Son, ciertamente, un estímulo para construir narrativas que permiten analizar tensiones y ansiedades, convicciones y creencias, pero no necesariamente inducen a elaborar opiniones o argumentos, ni a incrementar la capacidad de negociar y consensuar metas, especialmente en áreas tan sensibles como la biocompatibilidad de los materiales orgánicos e inorgánicos. Aquí juega un papel impor-

tante el factor generacional puesto que entre la gente joven la biocompatibilidad no constituye un problema ontológico, sino que forma parte de la experiencia lúdica de la artificialidad tecno-orgánica que fluctúa entre el juego de la realidad virtual y ciberespacial y las utopías que disuelven las fronteras entre los materiales biológicos y no biológicos.

Hay otras formas más creativas y menos especulativas de activar el imaginario y generar actitudes proactivas, independientemente de los grupos de edad, por ejemplo, el arte en pro de una nanoestética (Buxó, 2008). No es ninguna novedad la vinculación ciencia y arte, sin embargo explorar y aplicar los avances tecnocientíficos para la innovación artística y usar su potencial estético para favorecer el diálogo entre la ciencia y la sociedad, sí lo es. Actualmente, la experimentación artística extrae inspiración de saberes teóricos y técnicos, usa dispositivos, instrumentos y laboratorios para probar, potenciar y desarrollar producciones artísticas así como realizar instalaciones y performances. Penetrar en campos como la ingeniería genética, la nanotecnología, las matemáticas de límites y la robótica, implica transfigurar materiales y técnicas en busca de una estética innovadora que, al refinar la sensibilidad pública, favorece la comprensión de los avances tecnocientíficos

En este marco, la creación artística denominada nanoarte produce micropinturas y nanoesculturas con efectos distintos a las imágenes que resultarían del uso de fotones o partículas de luz, utilizando procesos químicos y físicos que son visualizables y controlables gracias a potentes microscopios electrónicos de alta resolución capaces de escanear nanoestructuras. Se busca así innovar la experiencia estética con paisajes originalmente invisibles cuyas imágenes, al revelarse tecnosensorialmente, provoquen tensión, asombro y placer, y con ello abrir el interés por la materia invisible a una escala donde la biocompatibilidad orgánica e inorgánica es posible.

El nanoarte recoge las directrices del ACT, Arte-Ciencia-Tecnología, un territorio emergente de la economía del conocimiento para la innovación, las denominadas *creative industries*, así como el desarrollo de políticas democráticas de conocimiento libre, *common property*, entre instituciones de investigación y ciudadanía. En 2005, la Fundación Española Ciencia y Tecnología preparó un Libro Blanco, publicado en 2007 en el que se expone que el cruce Arte-Ciencia-Tecnología y sus iniciativas permiten renovar las prácticas artísticas no sólo por la aplicación de dispositivos y escaneos electrónicos de laboratorio, sino por que la influencia de estas producciones en el imaginario colectivo, y distribuidas en el tejido social, facilitan la divulgación del conocimiento científico evitando concepciones inadecuadas o alarmantes, y superando la separación entre ciencia y cultura en pos de un nuevo humanismo.

Ahora bien, pasar de la transferencia de conocimientos a la formación dialógica, que requiere la participación en nanotecnología, implica llevar la metodología de escenarios más allá de los futuribles para enfocar el **presente**. En lugar de trabajar con conjeturas, resulta más instructivo y motivante incorporar el estado actual de la relación entre investigación y patentes, la financiación y las prioridades de la investigación, y, entre otros, la división nano que abre la discusión sobre la distribución desigual de los beneficios de estas costosas investigaciones. En este sentido, adquirir criterios y ser prudente con el consenso superficial implica ejercitarse con prácticas y contextos en los que se puedan definir los problemas y valorar los dilemas éticos de la investigación en el diseño de los proyectos, las patentes, las distribuciones y las aplicaciones.

En el marco de la Bioética, es buen ejercicio constatar que la justicia promueve la idea que tiene que haber una distribución justa o equitativa de los beneficios y los costes, incluyendo a la vez en éstos los riesgos que proceden de los avances tecnocientíficos y sus aplicaciones industriales así como las decisiones políticas y las prácticas públicas. Es instructivo reconocer que la justicia consiste también en distribuir los riesgos lo cual casi nunca queda claro en los debates por asociarse al peligro y oponerse al beneficio y la beneficencia. Y aún peor, se soslaya el hecho que este disimulo pueda producir otros riesgos, secundarios o inadvertidos, que deriven en injusticias mayores. No basta, pues, con repartir beneficios y generar beneficiarios pasivos, sino que hay que reconocer la exportación de riesgos que proceden de cómo se toman las decisiones o no se tomen en políticas, programas sociales y sanitarios. Por no anticipar otros aspectos, pues, si hasta ahora el problema era la exclusión de los tratamientos médicos a países terceros, ahora la productividad a gran escala puede plantear contradicciones de distribución exagerada para abaratar costes

En tiempos de globalización, la gobernanza, sea de agencias gubernamentales u organizaciones industriales, define y manipula el riesgo a escala global, de manera que, aunque se pueda considerar que no es en beneficio exclusivo de sus propios grupos y países, lo cierto es que no deja que otros tomen sus decisiones en la resolución de problemas y adquieran la resiliencia o la capacidad de lidiar con fuerzas adversas. Y lo más discutible es que esas experiencias se secuestren en nombre de valores morales universales, o intereses comunes y partidistas. Esto es, usar los derechos humanos como la base racional para seguir imponiendo un modelo de beneficencia y de organizar el bien común, en lugar de usar esos principios para no interferir con los planes de los demás.

En el aprendizaje de la división nano no hay que temer la reflexión nietschiana que da a entender que los DH no son disposiciones propuestas por los débiles para protegerse de los poderosos, sino ideas que promueven los poderosos para aliviar su conciencia de la explotación ejercida sobre los más débiles. Como expresa RORTY (1997) si los DH pasan a ser el motor inmóvil de los gobiernos y el aderezo discursivo de las políticas contemporáneas, invocarlos como un slogan es indicativo que se han agotado los recursos argumentativos.

Por lo tanto, es de gran interés aprender a discutir sobre qué es lo que hay que cambiar ¿la manipulación del riesgo o las formas de valorar el riesgo?

Siendo grande la incertidumbre por la carencia de información estandarizada sobre el ciclo vital de los nanoproduitos, la evaluación de los nanodispositivos en la salud y la bioseguridad, y el ritmo lento, o la incapacidad, para establecer regulaciones a escala nacional e internacional, se tiende a situar ideológicamente el control del riesgo bajo el principio de precaución, o en modificaciones menores de los marcos regulatorios en el sentido clásico de precaución racional basada en el calculo y el conocimiento científico disponible. Pero, en la práctica se entiende que un efecto paralizante de estas investigaciones generaría riesgos mayores puesto que ya se trata de avances consolidados.

Independientemente de los intereses que lo promueven, el nanodiálogo puede contribuir a desarrollar una precaución reflexiva. Así, en ausencia de consenso, con o sin evidencia científica, sobre los daños irreversibles en salud pública, o degradación ambiental, derivados de la toxicidad y la contaminación, sin poder garantizarse el éxito de un forum de negociación, ni abolir los conflictos, el nanodiálogo puede aportar justicia al implicar a la autoridades científicas, los representantes políticos, los oponente radicales y la ciudadanía, en la discusión del riesgo sin hipocresías, y con ello desvelar la complejidad de las matrices del riesgo que nos implican a todos y conseguir compromisos que permitan alinear y simetrizar los sacrificios inevitables.

En esa dirección y no en otra es donde el nanodiálogo puede potenciar una conversación entre el conocimiento experto y los discursos públicos que no privilegie a ninguno de los dos, sino que equilibre los avances tecnocientíficos con las condiciones sociales y los valores éticos. Y si el resultado no supone incrementar el conocimiento sobre la nanotecnología, ha de permitir tener más control sobre los que dirigen las políticas científicas, establecen las prioridades e influyen sobre las decisiones relativas a los procedimientos y las aplicaciones de la investigación. Conseguir, en definitiva, una co-evolu-

ción de las tecnologías emergentes con la sociedad basada en las necesidades humanas, la justicia social y la sostenibilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- BECK, U., *Risk Society*, London, Sage, 1992.
- BUXÓ REY, M. J., «Science in a cultural key», Barcelona, *Contributions to Science*, 2, (4) 525-528, 2004.
- «Nanoestética: transfigurar la material cultural», en *Arte, Arquitectura Digital, Net.Art y Universos Virtuales*, <http://www.ub.edu/artyarq>, 2008.
- CULLITON, B., 1985, «The public and the media», R. CLARKE (ed.), *Science and Technology in World Development*, Oxford, Oxford University Press, p. 147, 1985.
- DOUGLAS, M., *La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales*, Madrid, Paidós, 1996.
- DREXLER, E., *Engines of Creation*, New York, Anchor Press, 1986.
- GIDDENS, A., 1991, *Modernity and Self Identity: Self and Society in the Late Modern Age*, Cambridge, Polity Press, 1991.
- KUHN, T. S., *The Essential Tension*, Selected Studies in Scientific Tradition and Change, Chicago, Chicago University Press, 1977.
- LATOUR, B., *Ciencia en acción*, Barcelona, Ed. Labor, 1992.
- MERTON, R. K., *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*, Chicago, Chicago Univ Press, 1973.
- *Nature*, Nanotechnology Editorial, 2, 2007.
- RORTY, R., *¿Esperanza o conocimiento? Una introducción al pragmatismo*, México, F. C. E., 1997.
- SAHLINS, M., *Cultura y Razón Práctica*, Barcelona, Gedisa, 1988.
- SMALLEY, R. E., «Of Chemistry, Love and Nanorobots», *Scientific*.
- VIRILIO, P., *Un paisaje de acontecimientos*, Buenos Aires, Paidós, 1997.
- WOOLGAR, S., *Ciencia: Abriendo la caja negra*, Barcelona, Editorial Anthropos, 1991.

Tecnologías convergentes y democratización del conocimiento científico

JOSÉ MANUEL RODRÍGUEZ VICTORIANO

«Todos los maestros dijeron siempre que la fábrica es un asunto demasiado serio para que esté en manos de los obreros, que la tierra es demasiado grave y pesada para los campesinos; es el argumento de la esclavitud. Es el argumento del dominio. Hay que saber ciencia para dominar el mundo, no es necesario saberla para dominar la ciencia. Y así como los que tienen en la mano el dominio pueden ser fantoches o monigotes cuando en ese lugar peligroso se requerirían sabios entre los sabios».

Michel SERRES (1991:120)

SUMARIO.—I. INTRODUCCIÓN: EL FUTURO YA ESTÁ AQUÍ O EL PRESENTE DE LA TECNOCENCIA COMO «FIN DE LA HISTORIA».—II. CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y EMANCIPACIÓN SOCIAL: DE LA CRÍTICA A LA CIENCIA EMANCIPADORA.—III. LAS RUPTURAS EPISTEMOLÓGICAS QUE POSIBILITAN UN NUEVO SENTIDO COMÚN DE CARÁCTER EMANCIPADOR.—IV. INVESTIGACIÓN SOCIAL CRÍTICA, REPRESENTACIONES SOCIALES DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y DEMOCRATIZACIÓN DE LA CIENCIA.—V. DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN A LA SOCIEDAD CIENTÍFICAMENTE INFORMADA.—VI. LA INVESTIGACIÓN SOCIAL DE LAS REPRESENTACIONES SOCIALES: HACIA UNA DEMOCRATIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO.—BIBLIOGRAFÍA.

La globalización neoliberal de las últimas décadas ha traído aparejadas inmensas transformaciones económicas, políticas y sociales. La reorganización del sistema capitalista que surge de este período se ha concretado socialmente en el incremento de la vulnerabilidad social y en el crecimiento de las desigualdades sociales, dando lugar a la emergencia de la llamada «nueva cuestión social». El planteamiento que aquí se sigue sostiene que investigar el papel que conocimiento científico y la tecnociencia juegan en el capitalismo cognitivo como intensificadores de las formas de desigualdad resulta necesario para entender y completar la comprensión de las diferentes dimensiones

de las desigualdades económicas, sociales y culturales de la actual globalización neoliberal. La tesis de fondo sostiene que en el actual capitalismo cognitivo no se puede hablar de sociedades democráticas, con rigor científico, mientras no se hayan democratizado las decisiones sobre los usos sociales de la ciencia.

I. INTRODUCCIÓN: EL FUTURO YA ESTÁ AQUÍ O EL PRESENTE DE LA TECNOCIENCIA COMO «FIN DE LA HISTORIA»

«El científico debe patear las empresas para conocer sus necesidades».

Daniel Ramón¹ C.S.I.C. (Premio Juan de la Cierva 2008 en transferencia de tecnología)

Sostiene el sociólogo portugués Joao Arriscado NUNES (2002) que de las dos características que propiciaron el nacimiento de la ciencia moderna –el inconformismo crítico frente a los dogmas y el afán de dominar el mundo–, la actual globalización neoliberal está haciendo desaparecer la primera ante la apabullante hegemonía de la segunda. En este nuevo contexto, la interrelación entre el orden económico capitalista y el poder político han amplificado hasta extremos inauditos la dominación del mundo, esta dominación se legitima invocando una nueva autoridad inapelable: los saberes científicos-técnicos y sus beneficios económicos, sociales e individuales. La convergencia profunda de las tecnologías de la información con la genética y la biotecnología, la nanotecnología y las ciencias del conocimiento, las llamadas NBIC (Nano-Bio-Info-Cogno) han devenido el máximo exponente de dicha autoridad y sus ingentes beneficios. Tal y como señalaba a principios del nuevo milenio el informe estadounidense de Mihail ROCO y Willian BAINBRIDGE (2002): «Converging technologies for improving human performance. Nanotechnology, biotechnology. Information technology and, Cognitive science», las tecnologías convergentes suponen la mayor revolución de todos los tiempos ya que, entre otras cosas, como señala Adolfo CASTILLA (2008), permitirá a los individuos expandir sus habilidades de conocimiento y comunicación, aumentar sus capacidades físicas, mejorar su salud, aumentar las capacidades de entendimiento social, la seguridad y, por supuesto mejorar la productividad y el crecimiento económico. En esta misma dirección, aunque un poco menos entusiasta respecto a las implicaciones económicas y sociales se pronunciaba el posterior informe de la Comisión Europea (NORMAN, 2004), «Converging technologies. Shaping the future of european societies²».

1. Entrevista con Daniel Ramón, Profesor de investigación del Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos CSIC). Levante 20 enero 2008.
2. A pesar de ello, el optimismo del informe respecto a los potenciales beneficios de las tecnologías convergentes no deja lugar a las dudas, el informe concluye afirmando:

Simultáneamente, la divulgación científica a través de los medios de comunicación reproduce y amplifica el optimismo prometeico de los informes de los expertos. Un mínimo análisis sociológico del contenido de las noticias científicas de los medios de comunicación que construyen la opinión pública en la sociedad española, muestra la vinculación directa de la ciencia y sus aplicaciones con la secuencia de progreso individual y social. Como en el caso de los dos informes de expertos citados más arriba, las dimensiones más problemáticas de dichas aplicaciones o son excluidas o se relegan al apartado de las consideraciones éticas, más tarde volveré sobre esta cuestión. Así, las noticias en torno a la manipulación de la vida biológica y la intervención en los procesos de reproducción y desarrollo de los organismos vivos de las biotecnologías destacan en los inmensos beneficios que depararán tanto para la salud y la longevidad humana, como para la resolución definitiva de los problemas de la agricultura, de la alimentación o del medio ambiente. Otro tanto se puede decir de las referidas a las nanotecnologías que amplifican y prolongan a otros campos de la vida humana las promesas anteriores. Por último, las referidas a la sociedad red del capitalismo cognitivo auguran los beneficios de una nueva economía, de unas nuevas formas de gestión públicas y privadas, de una nueva cultura y de unas nuevas formas de participar en la política. Por separado o convergiendo, la presentación mediática de estos tres desarrollos de la tecnociencia, o bien, asumen, implícita o explícitamente, la ciencia como una nueva religión secularizada cuya observancia nos proveerá de grandes beneficios en este mundo, o bien, transmiten una ideología de la ciencia que equipara el progreso de la ciencia con el progreso humano, capaz de proporcionar en el presente de beneficios económicos, sociales e individuales sin riesgos reseñables. En suma, la realidad del proyecto de dominación fáustico (SIBILLA, 2005) de la ciencia, que posibilitan las tecnologías convergentes, caracterizado por su pretensión totalizadora de apropiación y dominio de la naturaleza tanto exterior como interior al cuerpo humano, se enmascara en su divulgación mediática como mejora de las condiciones de vida de la mayoría de los hombres y del crecimiento económico de sus sociedades.

Veamos un par de ejemplos. El primero ilustra cómo el cientifismo puede funcionar como la religión secularizada en el capitalismo cognitivo y

(2004:51): «The citizens of Europe will benefit from CTEKS (*Converging Technologies for the European Knowledge Society*) are geared towards health care, information processing and communication, environmental remediation, energy supply, and other areas of public interest and personal concern. CTEKS allow for the exploitation of technological potential and economic opportunity to satisfy pressing needs in Europe and in the developing World».

simultáneamente puede acudir en auxilio de «otras» religiones en forma de instrumento didáctico. La noticia procede de Tecnyo World³, un sitio web 2.0 que recopila los titulares y resúmenes en español de las noticias de tecnología que consideran más importantes entre aquellas que se publican en el mundo. En dicho portal una de las noticias más votadas en los últimos meses fue la aparecida el 18 de diciembre de 2007 en un periódico de San Petersburgo, su encabezamiento decía: «Los científicos crearon la nanobiblia». La noticia daba cuenta de cómo Investigadores de Technion, el Instituto de Tecnología de Israel, habían conseguido empaquetar las 308.428 palabras de la Biblia hebrea en un chip de silicona recubierto de oro con un tamaño –un cuadrado de 0,5 milímetros–, más pequeño que la cabeza de un alfiler. El proyecto de la nanobiblia había sido desarrollado por el instituto como parte de un programa educativo destinado a estimular el interés de la nanociencia entre adolescentes.

La segunda noticia procede del periódico EL PAÍS, el diario de mayor difusión en España, en su sección Vida&artes del día 18 de febrero de 2008 presentaba el artículo más extenso que ha publicado hasta la fecha sobre las nanotecnologías; también el primero que ha situado fuera de su sección de divulgación científica denominada «Futuro». El título rezaba: «Pensar en pequeño para crear a lo grande» y comenzaba del siguiente modo: «En 1961, el presidente de Estados Unidos, John Fitzgerald Kennedy marcó la conquista del espacio como una nueva frontera para su país. Casi 40 años más tarde otro presidente, Bill Clinton, situaba esa frontera en otro espacio inmenso aunque mucho más pequeño. “Imagínense reducir toda la información ubicada en la Biblioteca del Congreso en un artefacto del tamaño de un terrón de azúcar”, dijo Clinton. Nació así la Iniciativa Nacional de Nanotecnología en Estados Unidos, un plan copiado pronto por el resto de los países competidores, que pretendía estimular la ciencia y la economía a través de esta prometedora ciencia basada en la manipulación de la materia a escala atómica». La noticia continuaba saltando del pasado a nuestro futuro inmediato, convertido en presente: «El futuro de lo que comemos, compramos, observamos, padecemos e investigamos pasa por la nanotecnología. Dos motores mueven esa ciencia. El primero es el económico; más pequeño significa más barato. El segundo motor es puramente científico y, como siempre, plantea otras inquietudes más filosóficas: la posibilidad de imitar a la naturaleza, es decir, colocar los átomos donde queramos a través de la química...».

Las noticias anteriores nos muestran, en la primera, cómo se puede ir de la ciencia a la religión para volver a la nanociencia desde la nanorreligión

3. <http://tecnio.com/world/index>.

y todo ello sin cuestionar las promesas de progreso económico e individual del capitalismo cognitivo. Si interpretamos su sentido, podemos observar cómo la sacralización de la ciencia implica, como ha señalado Jaques TESTART (2006), institucionalizar las verdades del momento como inmutables; hacer que las defiendan sacerdotes intocables; rechazar violentamente toda nueva idea si obliga a corregir los dogmas de los antiguos paradigmas y, por último, una suerte de «fe» en el progreso científico⁴ que impide todo debate sobre las orientaciones de la investigación. Como oportunamente ha destacado LIZCANO (2006:250), es precisamente la pretensión de la ciencia de constituirse como discurso verdadero por encima de las ideologías, saberes y opiniones particulares, su capacidad de persuadirnos de que no estamos siendo persuadidos la que la constituye como ideología dominante.

Por otra parte, la ciencia como ideología dominante conlleva la cancelación del pasado y del futuro que quedan subsumidos en el presente, la aceptación de la idea del fin de la historia, que supone, en última instancia, un importante soporte de legitimidad para el capitalismo neoliberal. En palabras del sociólogo portugués Boaventura de SOUSA SANTOS (2007:51): «El grado de verdad de la teoría de fin de la historia consiste en que esta teoría supone la máxima conciencia posible de una burguesía internacional que ve finalmente el tiempo transformado en la repetición automática e infinita de su dominio. De este modo, el largo plazo colapsa en el corto plazo y, éste que fue siempre el marco temporal del capitalismo, permite finalmente a la burguesía producir la única teoría de la historia verdaderamente burguesa: la teoría del fin de la historia... La idea de repetición es lo que permite al presente extenderse gradualmente sobre el pasado y el futuro devorándolos».

En suma, la necesidad de realizar una transición de la ideología de la ciencia a la ciencia crítica (CUTCLIFFE, 2003) y de ésta a una ciencia emancipadora, son los primeros pasos en el camino hacia una democratización real

4. La «fe» en el progreso científico es explícita en los orígenes de la ciencia occidental en general (LEGENDRE, 2008) y de las ciencias sociales en particular. Como ha observado J. M. NAREDO (1987:10), dicha fe y el celo misionero de los apóstoles de los nuevos evangelios científicos queda atestiguado en el título de muchas de sus obras tales como: *Catecismo de la nueva concepción de la sociedad* (OWEN, 1987), *Catecismo de los industriales* (SAINT-SIMON, 1823-1824), *Sistema de la política positiva, o Tratado de sociología incluyendo la religión de la humanidad* (COMTE, 1851-1854)...; En las elaboraciones de los clásicos inmediatamente posteriores, en concreto en WEBER, dicha fe se convierte en objeto de análisis y reflexión. Para WEBER (VARELA y ALVÁREZ-URÍA, 2004:253), las primeras bases de la ciencia moderna emanan de mentes católicas y, sin embargo, los primeros intentos de aplicar la ciencia a prácticas objetivas son predominantemente protestantes. En esta dirección, queda abierta la pregunta sobre la medida en que la racionalidad de los medios de la ciencia contemporánea ha sido impregnada por la irracionalidad de los fines del espíritu del capitalismo y de la creencia religiosa.

del conocimiento científico que posibilite la participación ciudadana en la decisión sobre sus usos. Como ha sintetizado LÓPEZ CEREZO (2007:133), se pueden distinguir tres formas de entender la democratización de la ciencia, a saber, la alfabetización científica, es decir, «llevar la ciencia a los ciudadanos», la reorientación de las políticas de ciencia y tecnología hacia la demanda social, hacia las sensibilidades sociales y, finalmente, la apertura de las políticas en materia de ciencia y tecnología a las opiniones y participación de los ciudadanos que es a la que habitualmente suele referirse la literatura sobre el tema (FISHER, 2000; LEACH, *et. al.* 2005). La democratización real del conocimiento científico supone una profundización en este último sentido que haga posible asumir tanto la democracia en la ciencia⁵ como las decisiones democráticas sobre sus usos en la sociedad⁶. Desde este lugar, la cuestión epistemológica: por qué es verdadera la ciencia; se completa con dos cuestiones más. La antropológica: por qué se cree que es verdadera, y la política: a qué intereses sirve esa creencia.

II. CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y EMANCIPACIÓN SOCIAL: DE LA CRÍTICA A LA CIENCIA EMANCIPADORA

«La ciencia no puede contentarse con la idea de que el único modo de saber si una seta es venenosa sea comérsela».

N. GEORGESCU-ROEGEN (1996:97)

La Revista Crítica de Ciencias Sociais dedicó en 1999 un monográfico a la revisión crítica de la teoría social. En este monográfico Joao Arriscado NUNES (1999), inspirándose en el concepto de articulación de Stuart HALL, escribe un artículo titulado «Para além das “duas culturas”: tecnociencias, tecnoculturas e teoría crítica» donde plantea una serie de importantes refle-

5. En una reciente entrevista en Euractiv.com (WWW.euroactiv.com/en/science/interview-democracy-science-needed), el matemático y filósofo francés, Michel SERRES señalaba la necesidad de democratizar la ciencia y afirmaba: «It is necessary to answer people's concerns –to answer them and not to explain. For two milenio the scientific field has concentrated on offering science without listening to people's demands».
6. Jorge RIECHMANN (2004) recoge diferentes experiencias europeas recientes de participación democrática en las decisiones sobre ciencia y tecnología. Desde la propuesta del «minipolus» de Robert DAHL que consiste en un comité de unos mil ciudadanos y ciudadanas elegidos al azar, conectados mediante telecomunicaciones y asesorados por expertos que tendrían por tarea deliberar sobre una cuestión de particular importancia para la comunidad; pasando por las «Consensus conferences» o tribunales de ciudadanos, donde un grupo de ciudadanos escogidos al azar pero cuidando su representatividad reciben información sobre una cuestión políticamente relevante, luego se reúnen en un seminario de tres días, donde tras escuchar y preguntar a expertos a favor y en contra del tema acaban, acaban elaborando un informe final de conclusiones.

xiones para superar la división entre la cultura de las humanidades y la cultura de las ciencias, tecnociencias y tecnoculturas, en dirección a reconfigurar el conocimiento científico y posibilitar la creación de formas innovadoras de intervención cultural y política de carácter democrático y emancipatorio. Este objetivo, señala NUNES, exige por una parte, una nueva configuración de los saberes y de las ecologías del conocimiento, una redefinición de los productores y de las condiciones de producción de los saberes. Es decir, una revisión crítica de las jerarquías y de las fronteras culturales que naturalizan y presentan como inmutables la separación entre ciencias y humanidades, ciencias sociales y ciencias sociales, naturaleza y cultura, expertos e ignorantes, conocimiento especializado y sentido común.

Por otra, plantea la necesidad de dos transiciones. El paso, en primer lugar, de una crítica de la ciencia a una ciencia crítica; y la transición, en segundo lugar, de una teoría crítica de la sociedad a una teoría de la sociedad crítica. En esta segunda transición la competencia de la crítica asociada a un privilegio epistemológico –el de las ciencias sociales–, pasaría a ser una competencia ampliamente distribuida y repartida entre los ciudadanos, permitiendo el acceso al conocimiento de las cuestiones sociales que implican los desarrollo de la tecnociencia y la participación democrática ciudadanía sobre sus usos. Se trataría en palabras de NUNES de un proyecto que apunta hacia un nuevo sentido común, informado por las tecnociencias, pero también capaz de ejercer un efecto de transformación sobre éstas, incorporando otras formas de conocimiento y otras formas de intervención y decisión culturales y políticas de carácter emancipatorio. En lo que sigue del presente apartado se desarrolla esta cuestión con más detalle.

Desde esta perspectiva de una ciencia crítica, los usos sociales de la ciencia aparecen en un primer plano (SANTOS 1989: 10). Por encima de la opción epistemológica sobre lo que la ciencia sea, se impone la reflexión sobre lo que la ciencia hace. La reflexión epistemológica sobre la ciencia no sólo debe dar cuenta de «la ciencia que se hace» en tanto que práctica de conocimiento sino que necesariamente debe explicar «lo que la ciencia hace», en tanto que práctica social. Dar respuesta a estas preguntas nos enfrenta a dos exigencias: la primera implica que para poder comprender la ciencia como práctica de conocimiento y para poder entender cualquiera de sus partes (las diferentes disciplinas científicas) hemos de tener algún tipo de comprensión de cómo trabaja su «todo»; y, simultáneamente, que para comprender su totalidad hemos de tener algún tipo de comprensión de cómo trabajan sus partes.

La segunda exigencia supone que lejos de aceptar sin discusión los principios absolutos de la ciencia, de lo que se trata es de comprender la ciencia

en cuanto práctica social de conocimiento. Una práctica en relación dialéctica con el mundo y sus luchas por la conservación o transformación del orden social que lo regula. En definitiva, inscribir e interpretar el conocimiento científico en la tensión entre la regulación del orden social dominante y su transformación en un sentido progresista.

El principio general de la orientación de este programa hermenéutico, es sustancialmente pragmático. Afirma que el objetivo existencial de la ciencia está fuera de ella, su objetivo consiste en democratizar y profundizar la sabiduría práctica, en suma, el hábito democráticamente participado por el conjunto de la sociedad, y no por sólo por alguna de sus partes dominantes, de decidir con mayor conocimiento sobre los fines colectivos. Para ello, es necesario volver comprensible el papel que juega la ciencia en la sociedad, explicitar las condiciones de producción y apropiación del conocimiento y cómo esas condiciones tienen efectos políticos al potenciar o disminuir los diferentes y a menudo contrapuestas objetivos y estrategias de los sujetos sociales (GONZÁLEZ-CASANOVA, 2004).

A su vez, trabajar en la tarea de volver comprensibles las construcciones teóricas que desde la ciencia explican la sociedad y la transforman y cosifican en múltiples objetos teóricos, y potenciar su vinculación con otros saberes prácticos de conocimiento social. Esta tarea de desvelamiento es especialmente necesaria para las Ciencias Sociales, cuyas corrientes dominantes se han construido sobre un olvido interesado, han olvidado que las ciencias sociales son también una práctica social. En el siguiente apartado se presentan algunos pasos necesarios para recuperar dicha memoria.

III. LAS RUPTURAS EPISTEMOLÓGICAS QUE POSIBILITAN UN NUEVO SENTIDO COMÚN DE CARÁCTER EMANCIPADOR

«La ética de la responsabilidad es un sistema cerrado sólo tiene un nivel y su supervivencia es función de que no se rebase ese nivel. La ética de la (eco) responsabilidad es un sistema abierto tiene muchos niveles y su supervivencia es función de la supervivencia de todos los niveles. Niveles individuales (yo), niveles sociales (los grupos que me incluyen), niveles naturales (los nichos ecológicos de esos grupos). Y hay contradicciones entre esos niveles: yo puedo explotar mi medio social, mi sociedad puede explotar su medio natural. De nada vale la supervivencia de un sistema si no sobreviven todos los sistemas que lo contienen. Mi supervivencia es función de la supervivencia de todo el universo y yo soy responsable de él».

Jesús IBÁÑEZ (1997:472-473)

La evolución histórica del conocimiento científico abarca el recorrido delimitado por, en el punto de partida, la constitución de la ciencia clásica

durante el protocapitalismo y la emergencia del paradigma liberal y por, en el punto de llegada, la ciencia contemporánea, la progresiva consolidación del llamado paradigma de la «complejidad», en un nuevo contexto socio-histórico: el nuevo orden mundial impuesto por un rejuvenecido capitalismo ultraliberal. Este recorrido implica varias rupturas epistemológicas, teóricas y políticas que lo hacen posible (RODRÍGUEZ VICTORIANO, 2004). A grandes rasgos, la primera ruptura, supone el nacimiento de la ciencia moderna y consolida un modelo de conocimiento cuantitativo y mecanicista, un modelo que hace posible que la naturaleza sea ley para la razón y, a su vez, que la razón sea ley para la naturaleza. Sus procedimientos operacionales buscan la naturalización de la dominación social, y proponen, el estudio de los fenómenos sociales como si fueran cosas «naturales».

La primera ruptura epistemológica de la que surge la ciencia moderna es sobre todo una ruptura contra el saber «común», articulada a partir de dos instrumentos: el empírico que busca la adecuación a la realidad y el teórico que busca la coherencia lógica del discurso. En términos históricos, hacia el siglo XIX este proceso estará consumado. Por su parte, la segunda ruptura y la transición hacia el paradigma de la complejidad tiene que ver con el gran avance teórico que propició el propio desarrollo de la ciencia moderna. Un desarrollo que llevó, en las décadas finales del siglo XIX y en las iniciales del XX, a la constatación de la imposibilidad de las propuestas empírica y teórica del modelo anterior: la irreversibilidad termodinámica, el principio de indeterminación y el de incompletitud expresaron esta fractura. La armonía newtoniana da paso, desde las teorías contemporáneas del conocimiento científico, al orden oculto del caos (BALANDIER, 1990).

El conocimiento se interroga sobre su propia posibilidad, y el resultado es que la ciencia adquiere conciencia de sus límites, de la imposibilidad de lograr una descripción totalmente lógica del mundo desde ningún lenguaje formal ya que cualquier sistema formal contiene, parcialmente, una representación de sí mismo⁷. Las paradojas de la reflexividad y la auto-referencia

7. Con la agudeza que le caracteriza, Slavoj ŽIŽEK (2004: 33-34), en *A propósito de Lenin. Política y subjetividad en el capitalismo tardío*, Buenos Aires, Artuel/Parusía, ha planteado esta cuestión. Su argumentación es la siguiente: «El problema de la teoría del reflejo de Lenin reside en su idealismo implícito: su insistencia compulsiva en la existencia de la realidad material fuera o independientemente de la conciencia... lo que esta metáfora omite considerar es el hecho de que la parcialidad (la distorsión) de la reflexión subjetiva. Ocurre precisamente porque el sujeto está incluido en el proceso que refleja», para concluir con estas palabras: «debemos afirmar que el conocimiento “objetivo” de la realidad precisamente es imposible porque nosotros (la conciencia) siempre, ya somos parte de ella, estamos en su medio. Lo que nos separa de la realidad es nuestra misma inclusión ontológica en ella».

inundan el campo del conocimiento científico. El desarrollo del saber científico conduce a la conciencia de la incertidumbre, al reconocimiento que la simplicidad y la estabilidad del mundo newtoniano son la excepción y no la norma, la complejidad deviene la nueva norma.

Las últimas décadas del siglo XX consolidan el paradigma de la complejidad o cualitativo. A través de él se ilumina la cara oscura de la socialización de la naturaleza, de sus construcciones simbólicas y de sus efectos reales, y se da entrada a dos perspectivas nuevas. La primera permite enfocar el estudio de los fenómenos naturales como si fueran cosas sociales. Un territorio donde, como ilustra uno de los mayores representantes de este constructivismo simbólico, el popular sociólogo del «riesgo» Ulrich BECK hablar de naturaleza como no-sociedad significa exponerse a no captar la realidad contemporánea por estar utilizando categorías de otros siglos. La «naturaleza», para BECK, es todo menos «natural» ha devenido «un concepto, una norma, un recuerdo, una utopía, una contrapropuesta» (1998: 68). En el artículo titulado *La ecología en el pensamiento de fin de siglo*, Jesús IBÁÑEZ (1997: 488), caracterizaba las implicaciones del paradigma de la complejidad con los siguientes cinco rasgos: supone, en primer lugar, ir de lo simple a lo complejo, como la trama de la vida y el pensamiento donde un genotipo simple genera –por absorción del azar– un fenotipo complejo; implica, en segundo lugar, integrar el azar, asumir la dimensión creadora del caos; en tercer lugar, frente a la idea de que sólo hay ciencia de lo general, implica dar cuenta de lo singular de la singularidad de los sujetos y de la del mundo; implica en cuarto lugar, analizar cada sistema en sus relaciones con sus ecosistemas, un sistema es un trozo de ecosistema que se ha desgajado de él; supone, por último, incluir al observador en la observación, el objeto es un producto de la acción objetivadora del sujeto.

En suma, la segunda perspectiva, vinculada al paradigma de la complejidad, abre una nueva dialéctica más realista entre, por una parte, naturaleza y sociedad; por otra, sociedad y naturaleza, y atiende no sólo a las representaciones y construcciones simbólicas, en las que insiste BECK, si no, también, al intercambio físico, biológico e informacional de los flujos de energía. Desde esta segunda perspectiva es posible dar cuenta de la naturaleza y de las actuaciones del actual sistema de producción capitalista contra ella. Explicar cómo la explotación hasta límites irreversibles de la naturaleza es la dimensión energética de la actual socialización de la naturaleza por parte de la globalización capitalista y sus tecnologías convergentes. Dicha dimensión, guiada por el beneficio económico como único criterio, nos permite entender, en nuestro inmediato presente, la ausencia generalizada del llamado «Principio de Precaución» a la hora de poner en marcha las innovaciones tecnológicas.

La tercera ruptura es un proceso en construcción. Se vincula con el concepto de intelectual colectivo, comporta un compromiso explícito del conocimiento científico, con la praxis de transformación social en un sentido emancipador. Integra las elaboraciones propias de la segunda ruptura pero asume, radicalmente, el carácter político de todo conocimiento humano y lo vincula explícitamente con las ciencias sociales críticas y un proyecto social emancipador. Se trata de una propuesta epistemológica para ir más allá de la segunda ruptura y convertir el conocimiento científico que de ella emerge en un «nuevo» sentido común, científicamente informado, de carácter «emancipador» capaz de romper con el sentido común conservador de la ideología neoliberal. Si la primera ruptura epistemológica construye la ciencia moderna contra el sentido común dominante (un conocimiento pre-judicioso, conservador mistificado y mistificador); la segunda ruptura dibuja los límites de la ciencia clásica y se abre al paradigma de la complejidad; por último, la tercera, de carácter cualitativo dirige el conocimiento científico al sentido común⁸, lo informa científicamente y lo transforma en un nuevo sentido común de carácter emancipador.

Como hemos visto, en las tres rupturas anteriores se combinan elementos epistemológicos, antropológicos y políticos, la importancia concedida a cada uno de ellos los diferencia entre sí. Aplicando a los estudios sociales de la ciencia el esquema anterior podemos diferenciarlos en tres tipos. Siguiendo a IRANZO y BLANCO (1999); BOURDIEU (2003) y LIZCANO (2006); la sociología de la ciencia de MERTON estaría en el primer grupo. Esta perspectiva privilegia la dimensión epistemológica, describe la comunidad científica como una máquina comunicativa casi perfecta, explica cómo los científicos son los únicos capaces de producir conocimiento verdadero su comunismo, universalismo y desinterés garantizan la racionalidad, acumulación y el progreso de la ciencia. La crítica a esta posición, a partir de los sesenta con los nuevos estudios en sociología de la ciencia dará lugar a la segunda ruptura

8. Boaventura de SOUSA SANTOS caracteriza el sentido común del siguiente modo: «El sentido común es práctico y pragmático, se reproduce junto con las trayectorias y las experiencias de vida de un grupo social dado y en esa relación de correspondencia inspira confianza y seguridad. El sentido común es transparente y evidente, desconfía de la opacidad de los objetivos tecnológicos y del esoterismo del conocimiento en nombre del principio de igualdad de acceso al discurso a la competencia cognitiva y lingüística. El sentido común es superficial porque desdeña las estructuras que están más allá de la consciencia y, por eso mismo, está en una posición privilegiada para captar la complejidad horizontal de las relaciones conscientes entre las personas y las cosas. El sentido común es poco disciplinado y metódico... privilegia la acción que no conlleva rupturas significativas con lo real... es retórico y metafórico no enseña, persuade y convence... aúna la utilidad con el uso, lo emocional con lo intelectual y lo práctico» (2000:108).

epistemológica de carácter más antropológico con tres enfoques diferenciados. El llamado *programa fuerte* de sociología del conocimiento (D. BLOOR, 1998); *las técnicas de análisis del discurso* aplicadas a la reconstrucción de los textos científicos (B. LATOUR y F. BASTIDE, 1988); *los estudios de carácter etnográfico* sobre los estudios en laboratorio (B. LATOUR, 1983 y S. WOOLGAR, 1986). Por último, la tercera ruptura en los estudios sociales de la ciencia radicalizará la posición anterior y asumirá el papel explícitamente político de los usos sociales de la ciencia y el papel de la participación democrática para decidir sobre ellos (B. SANTOS, 1989; P. BOURDIEU 2003). Desde esta perspectiva se posibilita una ciencia crítica de carácter explícitamente emancipador. Las dimensiones que caracterizan esta tercera ruptura siguiendo a SANTOS serían las siguientes:

a) la solidaridad, en cuanto forma de conocimiento es el correlato necesario de la solidaridad en tanto que práctica política. Esta relación sólo es posible desde un sentido común, científicamente informado de carácter emancipador.

b) el sentido común emancipador exige un conocimiento científico prudente para una vida digna (SOUSA SANTOS, 2003). No desprecia la aventura científica y tecnología ni sus usos pero las subordina al conocimiento de sus consecuencias y a la sabiduría prudente de la vida.

c) el sentido común emancipador está construido para privilegiar y ser usado por los grupos sociales excluidos, marginados y oprimidos en sus prácticas emancipatorias.

En consecuencia, la tercera ruptura explicita la dimensión política del conocimiento científico y reflexivamente asume en su integridad que todo conocimiento es una forma de actuar con efectos políticos y sociales. Asume la politización del conocimiento científico y las nuevas tecnologías (GARCÍA DOS SANTOS, 2003) desde una apuesta ciudadana radical y trabaja por su democratización (AMADEU DA SILVEIRA, 2001).

El cuarto volumen del macro proyecto de investigación sobre la globalización alternativa que ha dirigido Boaventura DE SOUSA SANTOS y que lleva por título «Sembrar otras soluciones», se presentan siete principios para concretar ese «nuevo sentido común» de carácter emancipador (2004: 81-84):

1) La diversidad epistemológica del mundo es potencialmente infinita. Todos los conocimientos son contextuales y lo son más cuando más insisten en no serlo. 2) Todo conocimiento es parcelario y las prácticas sociales muy raramente se asientan sobre una sola forma de conocimiento. 3) La relatividad de los conocimientos no implica el relativismo. 4) El privilegio epistemo-

lógico de la ciencia moderna es un fenómeno complejo que no se puede explicar sólo por razones epistemológicas. 5) El pluralismo epistemológico comienza por la democratización interna de la ciencia. 6) La descolonización de la ciencia se asienta en el reconocimiento de que no hay justicia social global sin justicia cognitiva global. La justicia cognitiva global sólo es posible mediante la sustitución de la monocultura del saber científico por la ecología de los saberes. 7) La transición de la monocultura del saber científico hacia la ecología de los saberes hace posible la sustitución del conocimiento regulado por el conocimiento emancipación.

IV. INVESTIGACIÓN SOCIAL CRÍTICA, REPRESENTACIONES SOCIALES DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y DEMOCRATIZACIÓN DE LA CIENCIA

«Y me parece que antes de empezar una investigación, hay que preguntarse por qué se hace esa investigación, de dónde viene el problema: viene del campo autónomo de la sociología, es un problema generado por la discusión interna a la sociedad científica, o es un problema importado al campo sociológico desde afuera, por el poder político. Un campo es más o menos autónomo: el campo de la sociología, por razones sociales, es menos autónomo que el campo de la física, o que el campo de la biología, y cada sociólogo ha de luchar para defender su autonomía, y usando los instrumentos de crítica, pero no se puede luchar solo, hay que luchar colectivamente, desarrollando instrumentos».

Pierre BOURDIEU (2000:70)

La sociología es un saber sobre los contextos que enmarcan la realidad social. La investigación social es un proceso de conocimiento, un recorrido metodológico que nos posibilita tanto «ver lo que uno ve» (MANKELL, 2004: 425); como tratar de «ver lo que no se ve», en la medida que la experiencia científica contradice a la experiencia común (BACHELARD, 1982:13). El investigador social, como ha señalado el maestro de la sociología crítica española Alfonso ORTÍ (1994, 59-61), deviene un generalista de lo concreto, de la historicidad y complejidad de los fenómenos sociales. Por otra parte, la sociología crítica añade una nueva dimensión, en palabras de Boaventura DE SOUSA SANTOS (2000), no reduce la realidad a lo que existe, va más allá e incluye, en términos de Immanuel WALLERSTEIN (2003) una dimensión *Utopista, es decir*, una valoración rigurosa de los sistemas humanos, sus constreñimientos y sus posibles alternativas orientadas a propiciar una mayor igualdad social en las relaciones de intercambio social. Asumiendo esta doble perspectiva, la convergencia de las nano-bio-ingo-cogno tecnologías y la democratización del conocimiento científico en la actual la globalización neoliberal nos sitúan en

un nuevo contexto. Un contexto que en palabras de BECK (2008: 276-277), nos obliga a un nuevo universalismo caracterizado por juzgar con escepticismo la posibilidad de descubrir verdades nuevas en los procesos humanos, sociales y naturales y, al mismo tiempo, por insistir en la necesidad de sacar a la luz y nombrar tan bien como se pueda los «universalismos contextuales de la actualidad».

La globalización neoliberal, nombre que toma la etapa actual del capitalismo (FERNÁNDEZ *et al.*, 2001), es un espacio de des-regularización y privatización totalizante (BAUMAN, 2001). Un espacio de precarización de la condición laboral, pero también de precarización de otras dimensiones de la condición ciudadana (ALONSO, 2007): desde la reducción de la ecología política a la retórica del desarrollo sostenible (LEFF, 2002), pasando por el crecimiento de la desigualdad en el acceso al conocimiento, hasta, por último, la reducción de los mecanismos de la participación política a su simple simulacro formal (CASTORIADIS, 1996), tal y como muestran desde 1990 los Informes sobre desarrollo humano de Naciones Unidas y han dado lugar a la emergencia de lo que en la década pasada se caracterizó como la «nueva cuestión social» (CASTEL, 1998). La confluencia de las dimensiones anteriores apunta hacia un nuevo totalitarismo social, laboral, cultural educativo y político; una deriva hacia lo que Boaventura DE SOUSA SANTOS ha definido como un «nuevo fascismo societal». Las aplicaciones tecnológicas derivadas de la acumulación del conocimiento de las nuevas «enclosures» del capitalismo cognitivo (VV AA, 2004) están produciendo, tal y como denuncian algunos nuevos movimientos sociales liderados por la ONG canadiense ETC Group, un nuevo tipo de desigualdad y exclusión social. Investigar las nuevas formas de desigualdad que comporta esta etapa de globalización exige, necesariamente, analizar el papel que juegan los usos sociales del conocimiento científico dentro del actual capitalismo cognitivo o informacional (CASTELLS: 2000: 51), como una nueva fuente de legitimación ideológica y de desigualdad social. En definitiva, comprender, desde la reflexión teórica y la investigación empírica de sus representaciones sociales, el papel que el conocimiento científico y sus tecnologías aplicadas juega en el capitalismo cognitivo como intensificadores de las formas de desigualdad.

En este contexto de desigualdades hay que inscribir la revolución tecnológica que propicia la convergencia de las nano-bio-info-cogno tecnologías. Su potencialidad implica una nueva transformación a escala planetaria, tanto las estructuras productivas como la forma de regulación de los vínculos sociales. En este nuevo escenario, en el que la tecnociencia interfiere con las dimensiones más cotidianas de nuestras vidas y el horizonte de lo post-humano se abre –desde las tecnologías de la información y la comunicación,

pasando por los alimentos transgénicos, las células madres o los productos cotidianos generados mediante nanotecnologías (MARTINS, 2005)–, garantizar que los ciudadanos tengan acceso a una cierta cultura científica y técnica básica que les posibilite decidir sobre los usos sociales de la tecnociencias se convierte en un requisito fundamental para el funcionamiento democrático de nuestras sociedades.

V. DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN A LA SOCIEDAD CIENTÍFICAMENTE INFORMADA

«La única forma de asegurar que las innovaciones tecnológicas sirvan a propósitos útiles es incorporar la participación activa de la sociedad a todas las fases del proceso de innovación tecnológica. La democratización del sistema ciencia/tecnología es una reivindicación irrenunciable, que se torna aún más urgente a medida que el potencial de impacto social y ambiental del sistema aumentasen cesar».

Jorge RIECHMANN (2004:242)

Si el capitalismo informacional, la sociedad red, es la estructura social de nuestro tiempo. Si las tecnologías de la información han propiciado una nueva economía, un nuevo sistema de comunicación, una nueva forma de gestión, una nueva cultura y de forma incipiente están dando lugar nuevas formas de instituciones políticas, administrativas y de movilización ciudadana. Las cuestiones sociológicas implícitas son: ¿Cuál es el papel que juegan los usos sociales del conocimiento científico dentro del actual capitalismo informacional como nueva fuente de desigualdad social? ¿En qué medida refuerza a las anteriores fuentes tradicionales de desigualdad políticas, económicas, sociales y culturales del sistema capitalista? Enfrentar esta pregunta nos aleja de CASTELLS para acercarnos a BOURDIEU, a la estrategia que el sociólogo francés definió como «intelectual colectivo» (2001:40), a saber, en una estrategia de acción que orienta los objetos y fines de su reflexión a la producción y extensión de instrumentos de defensa contra la dominación simbólica refugiada bajo la autoridad de la ciencia. La estrategia se despliega en tres direcciones complementarias, primera, en los niveles más elementales de información, mediante la crítica del léxico y las metáforas del discurso dominante: competitividad, flexibilidad, globalización, nuevas tecnologías; segunda, en el nivel más complejo de la comunicación y el conocimiento, al poner en evidencia, mediante la crítica sociológica, los determinantes que pesan sobre los productores del discurso dominante (periodistas, científicos, universitarios, creadores de opinión) y sus productos las encuestas sobre las representaciones sociales del conocimiento científico y la imagen de la cien-

cia; tercera, mediante una crítica científica, al uso social de las prácticas científicas y las lógicas de dominación que introduce.

El trabajo en estas tres direcciones muestra cómo las diferencias en el acceso y la distribución del llamado conocimiento científico generan nuevas formas de desigualdad social. A su vez nos permite reflexionar sobre los efectos que esta cuestión tiene en la participación política de la ciudadanía en la gestión de lo público y, contribuye, en palabras de BOURDIEU, a crear las condiciones sociales de una construcción colectiva de utopías realistas. En definitiva la democratización del conocimiento y de los resultados de la ciencia contribuyen, como ha sintetizado recientemente Patrick CHAMPAGNE (2004: 64-66), al tránsito desde la democracia formal a la democracia real. También nos obliga a cuestionar dos tópicos profundamente arraigados en el sentido común de las representaciones sobre la ciencia y la tecnología.

El primero señala que la ciencia y la técnica no son buenas ni malas, todo depende del uso que se haga de ellas. Por el contrario, las opciones tecnocientíficas no son neutras, implican opciones de sociedad, implican como ha observado Jorge REICHMANN (2000:283-284) poder decidir en qué tipo de sociedad vamos a vivir, «dentro de qué biosfera, con qué cuerpos humanos, acompañados por qué seres vivos».

El segundo tópico reduce las decisiones sobre la ciencia y la tecnología a la observación de principios éticos y a los dictámenes de los «sabios tecnocientíficos» de turno. Sin embargo si nos acercamos a esta cuestión más detenidamente podremos ver cómo las propuestas de eticidad en la investigación científica, como ha observado el antropólogo argentino Eduardo MENÉNDEZ (2002:28-29), siguen una lógica histórica de continuidades y discontinuidades según la cual se demanda la necesidad de requisitos y prácticas éticas para ser olvidados al poco tiempo. Así, a mediados de los años cuarenta del siglo pasado la cuestión ética surgió como una respuesta a la experiencia de la ciencia bajo el nazismo y al uso de la energía atómica por los Estados Unidos. En las décadas siguientes, la cuestión ética reaparecerá vinculada al Proyecto Camelot⁹; al uso de la psiquiatría como instrumento de control

9. Como señala Denis BONEAU, en su artículo titulado «Las ciencias de la dominación mundial» (<http://www.voltairenet.org/article124110.html>), el Proyecto Camelot, fue una expresión de la «guerra psicológica», consistió en establecer modelos desde las ciencias sociales y humanas sobre los procesos que conducían a revoluciones nacionales en los países del Tercer Mundo para facilitar la dirección de operaciones de contra-insurrección. El campo de estudio de la disciplina fue amplio: incluía técnicas de persuasión, sondeos de opinión, interrogatorios, movilizaciones políticas y militares, propagación de ideología. Para obtener los datos científicos se financiaron varios centros: Bureau of Applied Social Research (BASR), de Paul Lazarsfeld, instalado en la universidad de Columbia; Institute for International Social Research (IISR), de

social y político en la Unión Soviética y otros países capitalistas y a las consecuencias de la investigación biomédica en sus experimentos con seres humanos y la aplicación de la ciencia a la industria de la guerra especialmente en Vietnam. Por último, desde la década de los noventa hasta la actualidad se vinculará a aspectos referidos al SIDA, a la salud reproductiva, a la investigación genética y a las nanotecnologías (MONEY, 2002; MARTINS, 2006).

En este sentido, la investigación social sobre el acceso a la información científica, así como de las representaciones sociales del conocimiento científico y sus tecnologías aplicadas devienen un instrumento importante en la lucha política por la democratización del conocimiento en su sentido más básico, es decir, un conocimiento fundamentado sobre los límites y posibilidades del propio conocimiento científico que permita y posibilite las decisiones democráticas de la ciudadanía sobre sus usos. La información, la comunicación y el conocimiento científico son, parafraseando a Che Guevara¹⁰, armas que sólo se utilizan bien cuando están en manos del pueblo, es decir, cuando se ha podido decidir democráticamente acerca de sus usos.

Los procesos de información, comunicación y conocimiento científico están en estrecha conexión. Siguiendo un esquema muy elemental podemos distinguir tres momentos. El acceso a la información y su manejo comprensivo suponen un primer momento de carácter reflexivo, la alfabetización científica; el acceso a su comprensión y comunicación significativa suponen un segundo momento de carácter transitivo –en este momento deviene posible la comunicación de la información, también la información aparece como el resultado y la condición de la multiplicación de conexiones comunicativas–; por último, en un tercer momento, a través del uso pertinente de la información y la comunicación, se puede posibilitar la producción de nuevo conocimiento, es decir, sentido o información puesta en relación que permite tomar decisiones sobre los usos de la tecnociencia. Este nuevo conocimiento producido reabre las búsquedas de información y reinicia el ciclo.

Al aplicar el modelo anterior a la fase actual de la globalización neoliberal, observamos dos características que acompañan su funciona-

Hadley Cantril; Center for International Studies (CENIS), de Ithiel de Sola Pool (Instituto Tecnológico de Massachussets) cuyos fondos, distribuidos por la Fundación Ford, provenían en realidad de la CIA y el Bureau of Social Science Research (BSSR), financiado directamente por la CIA cuyo objetivo consistía en perfeccionar las técnicas de interrogatorio.

10. La cita textual de Che Guevara dice: «La ciencia es un arma, un arma que puede utilizarse bien o mal, y que se utiliza bien cuando está en manos del pueblo, y que se utiliza mal cuando no pertenece al pueblo». Tomada de GONZÁLEZ CASANOVA (2004).

miento. En primer lugar, la estrecha relación entre capital social y capital informacional, que incluye los desarrollos del conocimiento científico y sus tecnologías aplicadas. En segundo lugar, la asimetría de sus actores. La rígida jerarquía que separa, en el campo de la información, a los que extraen e inyectan información de los que son in-formados por ella. En el campo de la comunicación separa a los emisores de los que sólo pueden ser receptores; y por último, en el del conocimiento, separa a los que poseen el conocimiento científico y deciden sus aplicaciones productivas y militares de aquellos que no tienen ni acceso a dicho conocimiento ni posibilidades de decir sobre sus usos.

Así pues, el nuevo espíritu del capitalismo (BOLTANSKI y CHIAPELLO, 2002) convierte a la dimensión informacional en un sentido amplio en un elemento decisivo para la acumulación de capital económico, toda vez que, simultáneamente, la capacidad de completar el ciclo de «información-comunicación-conocimiento-información» ha ido reduciéndose cada vez a menos países y cada vez a menos sectores sociales dentro de esos mismos países¹¹. Desde este punto de vista la tensión entre capitalismo cognitivo y globalización de la ignorancia adquiere toda su pertinencia. Toma la forma de un conflicto permanentemente renovado entre la democratización de la información, comunicación y el conocimiento y su tendencia contraria orientada hacia el bloqueo de dicho proceso y la consiguiente globalización de la ignorancia (VIDAL BENEYTO, 2002). Conviene recordar que lo que está en juego en este conflicto es la propia fundamentación democrática de las sociedades. Sólo las personas que tienen acceso y capacidad para manejarse en los procesos de información, comunicación y conocimiento pueden intervenir con solvencia en la vida política, cívica o cultural. Sólo una pedagogía política y ciudadana que asuma radicalmente esta problemática podrá posibilitar dicha intervención.

Para concluir, a título de modesta contribución empírica que permita ilustrar las reflexiones anteriores, presento los resultados de un par de investigaciones que he realizado en los últimos años sobre las representaciones sociales del medio ambiente y las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y su relación con los procesos de exclusión social. La primera de ellas fue financiada por la Dirección General de Asuntos Sociales de la Unión Europea; la segunda, fue financiada y promovida por la Plataforma

-
11. Los sucesivos informes sobre el desarrollo humano del PNUD, muestran cómo la desigualdad sigue siendo estructural. Crece la pobreza y se polariza la distribución de recursos, a su vez diversos informes sectoriales muestran cómo estas diferencias se reproducen en el acceso a la educación, la cultura o las tecnologías de la información y la comunicación.

valenciana de entidades del Voluntariado e investigó las representaciones sociales de las TIC en las entidades del Tercer Sector en la sociedad valenciana¹².

VI. LA INVESTIGACIÓN SOCIAL DE LAS REPRESENTACIONES SOCIALES: HACIA UNA DEMOCRATIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

«La mayor parte de la crítica que viene del pensamiento “revolucionario”, “radical”, “crítico”, no permite acercarse a un problema fundamental: ¿qué significan los cambios interdisciplinarios y tecnocientíficos para quienes luchan por un mundo más justo y más libre? Y ¿en qué consisten esos cambios del pensar y del hacer del sistema dominante, del paradigma dominante».

P. GONZÁLEZ CASANOVA (2003).

El hecho de que la investigación dominante sobre la percepción, la opinión, las normas y valores de la población en torno a los «problemas del medio ambiente» (RODRÍGUEZ VICTORIANO 2002), las nuevas tecnologías de la información y comunicación o la imagen social de la ciencia se haya efectuado mayoritariamente mediante la encuesta estadística como instrumento privilegiados no es casual. Ha posibilitado conjugar los dos sentidos propios del término in-formación de un modo muy concreto. Por una parte, ha extraído in-formación social sobre sus diversas representaciones; por otra, le ha dado forma, la ha «normativizado», en el caso de las representaciones medio ambientales que utilizo como ejemplo, en tres dimensiones básicas:

En la teórica, imponiendo una definición que podríamos caracterizar como de «ambientalismo abstracto», entendiendo por tal, una perspectiva que tiende a abstraer los «problemas del medio ambiente» de las relaciones sociales y políticas donde se producen.

En coherencia con la perspectiva anterior, en la dimensión metodológica se ha impuesto la técnica de la encuesta estadística como estrategia privilegiada para su investigación. La cuantificación de los problemas del medio ambiente permite, mostrando las frecuencias de su percepción por la población, ocultar la pregunta por su sentido social. La «pre-ocupación» se propone como la «única “ocupación”, la ocupación “políticamente correcta”» de la ciudadanía en torno al medio ambiente.

En la dimensión praxeológica, ha contribuido a conformar las propias representaciones de la conciencia medio ambiental que investigaba, a partir

12. La investigación se puede consultar en la siguiente dirección electrónica <http://www.aideka.tv/docs/SocInf3sector.pdf>.

de la amplificación mediática de sus resultados. El mensaje que se trasmite se puede resumir del siguiente modo: existe una «problemática medioambiental» y la población está preocupada o muy preocupada por ella.

En el caso de las investigaciones realizadas sobre las representaciones sociales sobre las nuevas tecnologías y la imagen social de la ciencia mediante el uso exclusivo de la encuesta estadística el resultado tiende a ser muy semejante, incluso en los casos «mejor intencionados» en el sentido de la democratización del conocimiento (VOGT, c. POLINO C., 2003). A este respecto resultan muy ilustrativas las críticas que MONTAÑA CÁMARA y LÓPEZ CEREZO (2007) al cuestionario con el que la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT) mide las representaciones sociales de la ciencia y la tecnología en la sociedad española. En consecuencia, se impone una apertura cualitativa que ponga en su centro la pregunta por el sentido de la problemática que se investiga y la sitúe en el contexto concreto de las relaciones sociales y políticas donde se produce.

Dos últimos ejemplos, a partir de los resultados de dos investigaciones sobre la infoexclusión¹³ y las representaciones sociales de las tecnologías de la información y la comunicación realizadas en los dos últimos años en Europa y en la sociedad española. La primera investigación se enmarcaba dentro del programa europeo Transnational Exchange Programme, el proyecto Transeuropean Resources (and Sources) e-Inclusion Network (TRIN) y tenía por objetivo una primera aproximación cualitativa a la relación entre sociedad del conocimiento, brecha digital y exclusión social¹⁴. Los objetivos concretos de la investigación se centraron en tres ámbitos:

Realizar una primera aproximación al conocimiento de las representaciones sociales de las Tecnologías de la Información y la Comunicación

-
13. El concepto de Info-exclusión alude a un conjunto de procesos complejos. Una realidad que en ocasiones añade una nueva dimensión al proceso o conjunto de procesos que caracterizan la realidad multifactorial y multidimensional de la exclusión social; y, en otras, puede suponer en sí misma una nueva y potente forma de exclusión social. En dos recientes investigaciones financiadas por la Dirección General de Asuntos Sociales de la UE, dicho concepto nos permitió relacionar la exclusión social y la exclusión digital. Su sentido es generalizable a otros desarrollos de la tecnociencia.
 14. Los socios de la primera fase de este proyecto fueron Mayo County Enterprise Board (Irlanda), Staffordshire Social Services (Reino Unido), Fundación Justo Ramírez (España), Colectivo Parke Alkosa (España), asociación Xarxaneta (España) y Universidad de Valencia (España).

(TIC) y la brecha digital¹⁵ de los diversos colectivos sociales en situación de exclusión social¹⁶ o susceptibles de padecerla.

Realizar una primera aproximación a las actitudes, normas, usos, necesidades y carencias de dichos colectivos sociales en relación con las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

Establecer un primer modelo descriptivo que relacione la exclusión social y la infoexclusión, es decir, la exclusión social procedente o agravada por la brecha digital.

Las conclusiones de dicha investigación indicaban: primero, en la medida que las TIC suponen una fuente de acceso a nuevos recursos laborales, a la información, el conocimiento y la profundización en la participación ciudadana, la Infoexclusión se convierte en estos sectores más desfavorecidos en un elemento que agrava sus condiciones concretas de exclusión social. A

15. Según la OCDE la brecha digital define la distancia entre individuos, hogares y empresas y áreas geográficas con diferentes niveles socio-económicos para tener acceso tanto a las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) como al uso de Internet para una amplia variedad de actividades. Por otro lado como precisan los profesores de la Universidad de La Laguna Teresa GONZÁLEZ y Pablo RODRÍGUEZ, con el concepto de brecha digital se nombra a la manifestación digital de la vieja desigualdad social, que reproduce, amplifica o provoca en el ámbito de la sociedad de la información, las desigualdades sociales respecto al acceso a la riqueza, el poder y los privilegios y se suma a las desigualdades relativas a la clase social, a la educación, al género, a la educación geográfica y al origen étnico. El acceso pleno a las TIC exigen unas Infraestructuras Tecnológicas Informáticas y de Comunicaciones y el desarrollo de una Infoestructura en sus potenciales usuarios. El desarrollo de dichas infraestructuras tecnológicas es la condición de posibilidad para que una sociedad tenga acceso a las TIC y determina las actividades y el tipo de relaciones telemáticas posibles. El concepto de infoestructura alude a los conocimientos, el grado de formación digital, las representaciones y las actitudes de los usuarios respecto a las tecnologías de acceso a las redes, tanto por cables como inalámbricas, y a la información y servicios ofrecidos por ellas. El grado de relación entre estos dos conceptos definen las características de la brecha digital y su posibilidad de superarla en los diferentes países y, dentro de ellos, en las diferentes clases sociales y grupos humanos.
16. El concepto de Exclusión social hace referencia al carácter multidimensional de la pobreza. La exclusión social añade a la definición meramente económica que acompaña el concepto tradicional de pobreza, una visión más dinámica. La exclusión social contempla y considera empíricamente otras situaciones como son los problemas derivados del acceso al empleo; las derivadas de las desigualdades de género, de salud, de formación, de etnia, de vivienda, de analfabetismo digital u otras. Estas dimensiones obstaculizan la vida y agravan el aislamiento de quienes viven en ellas y hacen más difícil salir de ellas. En última instancia la exclusión social es el reverso de la participación ciudadana plena, quienes la sufren ven obstaculizadas, gravemente deterioradas o bloqueadas sus posibilidades de participación ciudadana en la vida de la comunidad.

su vez, la dificultad de acceso a las TIC de los sectores sociales más afectados por la desigualdad social, agrava sus condiciones de exclusión y añade una nueva desigualdad. Por último, en estos sectores, la vinculación con algún proceso de participación ciudadana (del tipo que sea) posibilita paliar esta situación de infoexclusión o incluso revertirla. En los discursos y en las prácticas de estos sectores vinculados a la participación política y ciudadana, las TIC se conciben como unos instrumentos para transformar y mejorar su situación personal y colectiva.

El segundo ejemplo procede de una investigación que analizó la intersección actual entre el Tercer Sector y la sociedad de la información en la sociedad valenciana¹⁷. De esta segunda investigación me parece conveniente destacar tres conclusiones. En primer lugar, el trabajo cualitativo que realizamos nos permitió constatar empíricamente que en las representaciones sociales de las TIC habitan dos sentidos contrarios (serían, como observó Roland BARTHES [2004] del dinero, un «enantiosema»), por una parte, son entendidas como unos instrumentos que pueden amplificar la dominación social (del norte sobre el sur, de los ricos sobre los pobres...), por otra se conciben como un elemento de transformación social. Bien en una dirección progresista y aquí el ejemplo del uso de las TIC por el movimiento Zapatista es el ejemplo tipo; o bien, dentro de la lógica del nuevo espíritu del capitalismo como un elemento para aumentar las conexiones en la red y, en consecuencia, el capital social e informacional, el monopolio del saber tecnológico y la infoexclusión.

La segunda conclusión tiene que ver con lo que nuestros informadores nos dijeron en las entrevistas abiertas y en los grupos de discusión: las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación eran mayoritariamente concebidas, por parte de las entidades del Tercer Sector valenciano, como un instrumento para potenciar los procesos de igualdad social, ampliación de la participación política de la ciudadanía y conseguir una mayor democratización del conocimiento.

La última conclusión tiene que ver con lo que nosotros vimos, es decir, con lo pudimos deducir a partir de lo que observamos en el proceso de investigación. Se podría formular así: en el actual contexto histórico de globalización capitalista, la propiedad del conocimiento científico y de sus aplicaciones tecnológicas es un espacio vertebral en la dialéctica entre la conservación o la transformación de dicho orden social. En este sentido, la

17. La investigación fue financiada por la Plataforma Valenciana de Entidades del Voluntariado Social. La investigación se encuentra disponible en la siguiente dirección electrónica: <http://www.aideka.tv/wka/articulos/articulos.php>.

democratización en el acceso al conocimiento científico y la decisión colectiva sobre el uso de las nuevas tecnologías sólo es posible mediante la repolitización de la ciudadanía, exige, por último, la activa participación política de la sociedad civil y de sus nuevos movimientos sociales.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, L. E. (2007), *La crisis de la ciudadanía laboral*, Madrid, Anthropos.
- ÁLVAREZ, F. y VARELA, J. (2004), *Sociología, Capitalismo y democracia*, Madrid, Morata.
- AMADEU DA SILVEIRA, S. (2001), *Exclusão digital. A miséria na era da informação*, Sao Paulo, Editora fundação Perseu Abramo.
- ARRISCADO, J. (2002), «As dinâmicas da(s) ciencia(s) no perímetro do centro: Uma cultura científica de fronteira» en *Revista Crítica de Ciências Sociais*, núm. 63.
- BACHELARD, G. (1982), *La formación del espíritu científico*, Buenos Aires, Siglo XXI.
- BALANDIER, G. (1990), *El desorden. La teoría del caos y las ciencias sociales*, Barcelona, Gedisa.
- BARTHES, R. (2004), *Roland Barthes por Roland Barthes*, Barcelona, Paidós Contextos.
- BAUMAN, Z. (2001), *La posmodernidad y sus descontentos*, Madrid, Akal.
- BECK, U. (1998), *Políticas ecológicas en la edad del riesgo*, Barcelona, El Roure.
- (2008) *La sociedad del riesgo mundial. En busca de la seguridad perdida*, Barcelona, Paidós.
- BLOOR, D. (1998), *Conocimiento e imaginario social*, Barcelona, Gedisa.
- BOLTANSKI, L. y E. CHIAPELLO (2002), *El nuevo espíritu del capitalismo*, Madrid, Akal.
- BOURDIEU, P. (2001), *Contrafuegos 2*, Anagrama, Barcelona.
- (2003) *El oficio de científico. Ciencia de la ciencia y reflexividad*, Barcelona, Anagrama.
- (2000) *El sociólogo y las transformaciones recientes de la economía en la sociedad*, Buenos Aires, Libros del Rojas/Universidad de Buenos Aires.
- CÁMARA, M. y J. LÓPEZ CEREZO, (2007), «Dimensiones de la cultura científica», en *Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología en España*, FECYT, pp. 39.
- CASTEL, R. (1998), *La metamorfosis de la cuestión social*, Buenos Aires, Paidós.
- CASTELLS, M. (2000), *La era de la Información. La sociedad red*, Madrid, Alianza Universidad.

- CASTELLS, M. e I. TUBELLA (dir.) (2007), *La transición a la sociedad red*, Barcelona, Ariel.
- CASTILLA, A. (2008), «La gran convergencia tecnológica del siglo XXI», en *Nanotecnologías: sociedad, salud y medio ambiente*, Ciclo complutense de ciencia y tecnología. Fundación General Universidad Complutense Madrid.
- CASTORIADIS, C. (1996), «La democracia como procedimiento y como representación», en *Iniciativa Socialista*, núm. 38.
- CUTCLIFFE, S. (2003), *Ideas, máquinas y valores. Los estudios de ciencia tecnología y sociedad*, Barcelona, Anthropos.
- CHAMPAGNE, P. (2004), «Bourdieu, un sociólogo político», en *Pierre Bourdieu, las herramientas del sociólogo*, L. ALONSO, E. MARTÍN CRIADO, J. L. MORENO PESTAÑA, (eds.), Madrid, Editorial Fundamentos.
- FERNÁNDEZ, R., M. ETXEZARRETA y M. SÁEZ (2001), *Globalización capitalista. Luchas y resistencias*, Madrid, Virus Editorial.
- FISHER, F. (2000), *Citizen Participation and environmental risk: the politics of local Knowledge*, Dirham-Londres, Duke University.
- GARCÍA DOS SANTOS, L. (2003), *Politizar as novas tecnologias. O Impacto sócio-técnico da informação digital e genética*, Sao Paulo, Editora 34.
- GEORGESCU, N. (1996), *La ley de la entropía y el proceso económico*, Madrid, Fundación Argentaria.
- GONZÁLEZ-CASANOVA, P. (2004), *Las nuevas ciencias y las humanidades. De la Academia a la Política*, Madrid-Barcelona, Anthropos.
- HALL, S. (1996), «The problem of ideology: marxism without guarantees» en MORLEY y CHEN (org.), *Stuart Hall: critical dialogues in cultural studies*, London, Routledge.
- IBÁÑEZ, J. (1983), «Hacia un concepto teórico de explotación», en *Sistema*, núm. 53, marzo.
- IRANZO, J. y BLANCO, R. (1999), *Sociología del conocimiento científico*, Madrid, CIS.
- LATOUR, B. (1983), «Give me a laboratory and I will raise the world», en K. D. KNORR-CETINA y M. MULKAY (eds.) *Science observed*, London, Sage.
- LATOUR, B. y BASTIDE, L. (1988), «La ópera científica. Materiales para un análisis socio-semióticos de los textos científicos», en *Archipiélago*, 1 pp. 63-65.
- LEACH, M., SCOONES, I. y WYNNE, B. (2005), *Science and citizens*, Lodon-New Cork, Zed Books.
- LEFF, E. (2002), *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*, México, Siglo XXI.

- LEGENDRE, P. (2008), *Lo que occidente no ve de occidente. Conferencias en Japón*, Buenos Aires, Amorrortu.
- LIZCANO, E. (2006), *Metáforas que nos piensan. Sobre ciencia, democracia y otras poderosas ficciones*, España, Ediciones Bajo cero/Traficantes de sueños.
- LÓPEZ CEREZO, J. (2007), «Democracia en la frontera», en *Revista CTS*, núm. 8, pp. 127-142.
- MANKELL, H. (2004), *Cortafuegos*, Barcelona, Tusquets.
- MARTINS, P. (2005), *Nanotecnologia, Sociedade e Meio ambiente*, Sao Paulo, Associação Editorial Humanitas.
- (org.) (2006), *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente*, Sao Paulo, Xama Editora.
- MENÉNDEZ, E. (2002), *La parte negada de la cultura. Relativismo, diferencias y racismo*, Barcelona, Bellaterra.
- MONEY, P. (2002), *O Século 21*, Sao Paulo, expressao popular.
- NAREDO, J. M. (1987), *La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*, Madrid, Siglo XXI.
- NORDMANN, A. (rapporteur) (2004), *Converging Technologies. Shaping the Future of European Societies*, Luxembourg, European Comisión, EUR 21357.
- NUNES, J. (1999), «Para além das “duas culturas”: tecnociencias, tecnoculturas e teoria crítica», en *Revista crítica de ciencias sociais*, núm. 52/53, pp. 15-60.
- ORTÍ, A. (1994), «La estrategia de la oferta en la sociedad neocapitalista de consumo: génesis y praxis de la investigación motivacional de la demanda», en *Política y Sociedad*, núm. 16, pp. 59-61.
- RIECHMANN, J. (2000), *Un mundo vulnerable. Ensayos sobre ecología, ética y tecnociencia*, Madrid, La catarata.
- (2004) *Transgénicos: el haz y el envés*, Madrid, Editorial Catarata.
- ROCO, M. y BAINBRIDGE, W. (Ed.) (2002), *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology. Information Technology and, Cognitive Science*, Informe patrocinado por NSF/DOC, Virginia, USA.
- RODRÍGUEZ, J. M. (2002), «Los discursos sobre el medio ambiente en la sociedad valenciana (1996-2000)», en *Quaderns de ciències socials*, núm. 8.
- (2004) «El oficio de la reflexividad. Notas en torno a Pierre BOURDIEU y la tradición cualitativa en la sociología crítica española», en *Pierre Bourdieu, las herramientas del sociólogo*, MARTÍN ALONSO, L., E. CRIADO, J. L. MORENO PESTAÑA (eds.), Madrid, Editorial Fundamentos.

- SANTOS, B. (org.) (2004), *Semear Outras Soluções. Os Caminhos da Biodiversidade e Dos Conhecimentos Rivaís*, Porto, Edições Afrontamento.
- (1989), *Introdução a uma Ciência Pós-moderna*, Porto, Edições Afrontamento.
- (2007), *A gramática do tempo. Para uma nova cultura política*, São Paulo, Cortez Editora.
- (1999), *Per la Mao de Alice. O Social e o Político na Pos-modernidade*, Brasil, Cortez Editora.
- (2000), *A Crítica da Razão Indolente. Contra o Desperdício da Experiência*, São Paulo, Cortez editora.
- SERRES, M. (1991), *El paso del Noroeste* (Hermes V), Madrid, Ed. Debate/Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- SIBILIA, P. (2005), *El hombre postorgánico. Cuerpo, subjetividad y tecnologías digitales*, Buenos Aires, FCE.
- SOUSA, B. (2003), *Conhecimento Prudente para uma Vida Decente*, Porto, Edições Afrontamento.
- TESTART, J. (2006), «La ciencia como religión», en *Le Monde Diplomatique*, Santiago de Chile, ed. Ciencia Tecnología y Sociedad, Editorial Aún creemos en los sueños, pp. 7-16.
- VIDAL, J. (2002), *La ventana global*, Madrid, Taurus.
- VOGT, C., POLINO, C. (orgs.) (2003), *Percepción pública de la ciencia. Resultados de la encuesta en Argentina, Brasil, España y Uruguay*, São Paulo. Editora Unicamp.
- VV AA (2003), *Percepción social de la ciencia y la tecnología en España*, Madrid, FECYT.
- (2004) «Capitalismo cognitivo. Propiedad intelectual y creación colectiva. Traficantes de sueños», Madrid, Versión digital disponible en <http://traficantes.net/editorial/capitalismocognitivo.htm> (12 de marzo de 2008).
- WALLERSTEIN, I. (2003), *Utopística. Les Opcions Històriques del Segle XXI*, Valencia, Universitat de València.
- WOOLGAR, S. (ed.), *Knowledge and Reflexivity. New Frontiers on the Sociology of Knowledge*, London, SAGE.

Nanotecnologías: opiniones diversas y participación social

GRACIELA SARRIBLE PEDRONI

SUMARIO.—I. PRIMEROS SONDEOS SOBRE LA NANOTECNOLOGÍA.—II. ENCUESTAS SOBRE AVANCES TECNOLÓGICOS EN ESPAÑA.—III. FORO.—BIBLIOGRAFÍA.

Si bien, en el mundo académico hace años se viene trabajando con las nanotecnologías, la sociedad o digamos, la persona corriente, poco sabe de esto. Se han llevado a cabo a través, sobre todo de organismos gubernamentales o financiados con dinero público, encuestas en diversos países. A través de la web, han sido localizados los informes realizados por el gobierno de Australia, preocupado por la cuestión; hasta una Fundación Suiza que también indaga sobre la gobernabilidad en este tema.

Contrasta esta preocupación pionera con otros organismos o Gobiernos que poca atención le han prestado. Por ello, resulta difícil precisar cuál es el factor más importante o de mayor peso en el diseño de las políticas y en la búsqueda de la aceptación de la sociedad de los avances tecnológicos. Indagar sobre la cuestión puede significar adelantarse a la formación de una imagen, ya sea positiva o negativa y contribuir a una percepción encaminada a la aceptación de ciertos retos o de riesgos medidos y controlados, así como informados.

Para aclarar qué significa o qué reagrupan las Nanotecnologías, sólo decir que se trata de una cuestión de dimensión; o sea de ínfimo tamaño. Se pueden consultar las definiciones que están en la web, que son muchas y tienen como referencia instituciones académicas. No se estima necesario dar otra sino poner de relieve lo que tienen en común. Muchas definiciones hacen referencia a las moléculas o a los átomos. Otras, a la nueva medida de un nano o nanómetro. También se insiste en el aspecto tecnológico, los

circuitos electrónicos o la ingeniería. En algunos casos, se menciona explícitamente que se trata de una manipulación de partículas. En todos los casos, queda en evidencia que estamos en el campo de los conocimientos aplicados. La primera noción que he destacado y que da nombre a estas tecnologías menciona directa y expresamente a la ciencia, por lo que cabe estimar su relevancia. El nanómetro es la dimensión infinitesimal con que se miden las partículas o moléculas que se manipulan con estas tecnologías.

La idea de manipulación que puede resultar necesaria o imprescindible para los científicos habituados a ello, provoca normalmente, el efecto contrario en la sociedad. Miedo por lo que se pueda hacer, por lo que se pueda alcanzar como resultado o simplemente, porque no se sabe sobre estas prácticas. De ahí, el interés de los especialistas en Biotecnologías y Ética que quieren destacar lo seguro de estos nuevos avances e intentar lograr una buena imagen de cara a la sociedad.

Las encuestas realizadas en otras oportunidades sobre temas genéricos de innovaciones tecnológicas, nos dejan ver que la sociedad, si bien tiene una imagen positiva, no juzga a todos de la misma manera. Es lógico que la energía nuclear provoque resquemores. Se dio a conocer al mundo con dos grandes masacres. Por más que se limpie, jamás abandonará la forma en que se presentó en sociedad, ni tampoco los riesgos que comporta.

No se trata de juzgar, ni de decir lo que está bien o mal en lo que concierne a las Nanotecnologías. No me cabe a mí, que desconozco los vericuetos de estas áreas, establecer juicios sobre el particular. El objetivo de este artículo es presentar algunas encuestas realizadas sobre los temas de avances científicos, en general y sobre la nanotecnología en particular. Se trata sólo de un análisis de resultados de una recogida de información y de una comparación somera. Nos situamos en el inicio, no de la Nanotecnología como ciencia, sino de su proyección social y resulta necesario verificar las imágenes que se va formando en el público en general, de esta nueva área tecnológica.

Se aportarán datos de algunas encuestas cuyos resultados han sido publicados en la red, tanto de Gobiernos, como el de Australia, como de alguna Fundación privada que se ha ocupado de la cuestión. Se hará referencia a tres estudios del CIS (Centro de Investigaciones Sociológicas) realizados en España, con un intervalo de un año, el primero en 1996. Si bien, tienen carácter genérico, pueden dar una idea de la cuestión. La opinión pública no tiene una imagen positiva monolítica y confiada sobre los avances. También expresa su voluntad de poner límites o simplemente, rechazo de algunos. Por último, se hará referencia al Foro que se abrió en julio 2009 y se cerró en septiembre del mismo año, con motivo de la investigación en Nanotecnología.

logía y Derecho, en el blog del Observatorio de Bioética y Derecho de la Universidad de Barcelona.

Las primeras encuestas sobre el tema de las Nanotecnologías realizadas se dirigen a personas formadas especialmente en la cuestión, investigadores del área. Esta cuestión, todavía no ha llegado al público en general para poder indagar una opinión más o menos fundada sobre el particular. Eso quiere decir que los primeros sondeos tienen como objetivo conocer la opinión, exclusivamente, de informadores privilegiados.

El Foro que se abrió, como parte final del proyecto de Nanotecnología y Derecho, implicaba la voluntad de recabar la opinión del mundo académico. Por lo reciente del tema o por una razón que se nos escapa, las respuestas han sido escasas respecto a las expectativas que había generado la experiencia. La nanotecnología todavía no es del dominio público. Tampoco un área de conocimiento básico compartido por profesionales. Sin embargo, si comparamos las respuestas con otras encuestas realizadas, vemos que coinciden. O no existe mayor interés o el mundo académico, celoso de su corrección y de lo fundado de sus conocimientos, se abstiene de contestar sobre cuestiones que todavía no posee suficiente información o no han trascendido para que su proyección les alcance a todos los especialistas.

I. PRIMEROS SONDEOS SOBRE LA NANOTECNOLOGÍA

El objetivo de las encuestas de opinión reside en tener una idea de la aceptación o rechazo que provocan políticas, personas, grupos, medidas. Si se realizan periódicamente es porque se espera que los acontecimientos puedan haber influido y cambiado, en una cierta medida, la opinión expresada en el primer sondeo. Para bien o para mal, la opinión pública no es inamovible y resulta permeable a nuevas informaciones, hechos o discursos políticos.

La encuesta cuyos resultados han publicado M. D. COBB y J. MACOUBRIE hace alusión no sólo a la percepción de esta nueva área del conocimiento, sino también a sus riesgos. El título de este trabajo, «Percepción pública de las nanotecnologías. Riesgos, beneficios y confianza», resulta equilibrado al mencionar además de los aportes positivos, la cuestión de la confianza que puede o no generar esta área. Otros trabajos de MACOUBRIE también se refieren a la confianza en el Gobierno. Resulta fundamental considerar que las investigaciones financiadas con fondos públicos revierten en el Gobierno que las ha apoyado en forma de gobernabilidad. El acceso al informe final es restringido por lo que sólo puedo mencionar su publicación.

El Gobierno de Alemania encargó una encuesta para conocer los riesgos de la Nanotecnología y también fue dirigida a personas o grupos específicos y no al público en general. Se trata de conocer de antemano, los riesgos que pueda generar y tomar las medidas adecuadas para poder controlar o evitarlos, sobre todo en el sector de la alimentación. Adelantarse implica tratar de recudir o minimizar los males o consecuencias imprevistas. Se hace referencia a este proyecto en el 2006. Posteriormente, un artículo de Ahmed ELAMIN en noviembre del mismo año, insiste en la futura búsqueda de riesgos en esta área. En resumen, se puede decir que se intenta ser precavido y se avanza muy lentamente para no provocar reacciones encontradas o adversas.

El Gobierno de Australia también ha realizado sondeos para disponer de información acerca de este tema y la percepción que de él se tiene. Desde octubre de 2004 (el informe es de 2006) se han realizado estudios que tienen que ver con la capacidad científica, la industria y la comunidad. La capacidad científica está en relación con las infraestructuras disponibles y se solicita mayor disponibilidad de cara al futuro. Un grupo de hombres de empresa fueron entrevistados en julio 2005 para conocer su opinión respecto a la intervención del Gobierno. En este sentido, mostraron su buena predisposición frente al Gobierno y a su capacidad de financiación de estos proyectos. La opinión de las empresas resulta positiva respecto a los futuros beneficios que este sector puede generar. Entre el público, en general, resulta mucho más difícil que se dispongan de conocimientos en la materia. Por eso, los informadores privilegiados representan los referentes buscados en áreas muy específicas, difíciles o nuevas.

El público en Australia ha oído hablar de las nanotecnologías en una proporción que no alcanza la mitad. Pero sólo algo más que la cuarta parte del total, puede mencionar aplicaciones específicas en esta área. Estimo que puede ser crucial la cuestión de la participación en la toma de decisiones. También formó parte de la consulta en el Foro esta cuestión, dada no sólo la relevancia que comporta sino la reiteración en múltiples trabajos. Se ha expresado en múltiples niveles, la necesidad de la sociedad, en general, de participar en las decisiones que se refieren a áreas nuevas en expansión. Las personas manifiestan, en aproximadamente la mitad de los casos, su deseo de ser consultadas en ésta como en cualquier área de investigación científica y tecnológica. Y es el Gobierno el que se espera que informe sobre la cuestión para que la opinión pública pueda formarse una idea adecuada sobre este tema.

Además de las encuestas oficiales o encargadas o financiadas por los Gobiernos, también las fundaciones privadas se ocupan de la cuestión. En

Suiza, el Consejo Internacional sobre los riesgos de la Gobernanza (*International Risk Governance Council*) ha realizado en el 2005 y publicado el año siguiente, un sondeo sobre esta cuestión. La intención manifiesta puede ser similar a las anteriores; o sea, hacer recomendaciones a las personas que toman decisiones. Si bien, se había contemplado la consulta a especialistas de varios países, la tasa de respuesta fue muy baja, al igual que en el Foro realizado como parte de este proyecto. Las negativas estuvieron justificadas en la realización de proyectos que no se habían acabado y por ello, las respuestas no hubieran podido ser elaboradas, todavía.

En general, las respuestas destacaron el importante papel de las Nanotecnologías en ciertos sectores industriales. Las investigaciones en esta área se centraban en el medio ambiente, la salud y la seguridad y el establecimiento de una nomenclatura y una metodología compartida internacionalmente. Las opiniones no fueron unánimes en lo que se refiere a la gobernanza y a las compañías individuales. Tampoco existe acuerdo en el momento en que la industria debe colaborar, ya que los riesgos en este terreno todavía no han sido precisados.

Respecto a la participación pública, que fue la primera de las preguntas del Foro, las respuestas no sólo son unánimes sino políticamente correctas al reconocer la necesidad de esa participación. Sin embargo, la sugerencia de que una persona independiente se encargue de comunicar los riesgos al público en general para que puedan evaluarlos, resulta una propuesta no sólo interesante sino que avala la voluntad de transparencia en este sector.

Por una parte, nos encontramos en un área donde los conocimientos no están consolidados y cuestiones como los riesgos no se han definido claramente. Por la otra, se estima que no hará falta una legislación específica para regular el sector. De acuerdo con los resultados de estas consultas, bastaría con adaptar las regulaciones existentes, lo que facilitaría la tarea y el desempeño a las compañías privadas.

En conclusión, se puede decir que las encuestas buscan conocer, en primer lugar, la opinión de las personas ligadas al sector y que ya trabajan en Nanotecnologías. Sólo un público informado, se ha considerado que puede responder a estas cuestiones. Aun cuando se trate de informadores privilegiados, estas mismas personas reconocen que hay cuestiones esenciales, como los riesgos, que todavía no se han desarrollado suficientemente. En este caso, preguntar sobre las regulaciones puede resultar muy temprano. Se estima que una adaptación de las normativas existentes podría resultar suficiente.

II. ENCUESTAS SOBRE AVANCES TECNOLÓGICOS EN ESPAÑA

Es difícil opinar o participar en aquello que se desconoce. De acuerdo con los informes publicados que mencionan cómo se ha recogido la información, las encuestas no van dirigidas al público en general. En el caso de España, se ha recurrido a datos del CIS, organismo oficial, que ha solicitado la opinión de los españoles sobre Ciencia y tecnología, en los años sucesivos de 1996, 1997 y 1998.

Desde entonces, ha habido variados temas, como la ingeniería genética, la informática o la disponibilidad de aparatos electrónicos en el hogar, pero ninguna más de carácter genérico sobre avances científicos y beneficios para la sociedad, que se encuentre en estos momentos disponibles para el público en general. Los resultados de las tres encuestas realizadas constan en los Boletines 5, 11 y 18, del organismo citado, correspondientes a tres años consecutivos. Se encuentran disponibles para el público en general.

El primero de estos estudios (ESTUDIO CIS 2213) fue realizado en mayo 1996 sobre Ciencia y tecnología. La primera cuestión que trata versa sobre el interés y la información que se posee sobre variados temas como la falta de alimentos, los avances médicos o la cultura, pero también los avances tecnológicos y los descubrimientos científicos. Dos de cada tres personas se muestran interesadas en estas cuestiones pero sólo se informan un poco más de una de cada cuatro. Mayor resulta la proporción que dicen que se informan sobre problemas sociales, cultura y deportes, únicos ítems donde se supera la mitad de los entrevistados.

Cuando se trata de avances concretos y se enumera una serie, la biotecnología aparece, ordenada de más a menos en la antepenúltima posición, por delante de la exploración del espacio y de la energía nuclear, único avance donde apenas un poco más de un tercio considera que ha beneficiado la calidad de vida de las personas. En todos los demás, nueve de diez de los mencionados, la opinión es que han contribuido desde un 94% con los trasplantes de órganos en cabeza hasta el 51% de la exploración del espacio. El apoyo a las biotecnologías es de un 58% de las respuestas.

En cambio, cuando se trata de mostrar acuerdo sobre determinadas formulaciones, se observa que la opinión no es unánimemente positiva, sino más matizada. De más a menos, tres de cada cuatro personas está muy o bastante de acuerdo al considerar que el modo de vida cambia demasiado rápido debido a la ciencia y a la tecnología. De acuerdo en menor grado, en que la vida es más saludable y cómoda, se avanza en el conocimiento, o que la investigación debe ser financiada por el Estado. Más sorprendente puede

resultar que todavía sea mayoritaria la opinión de que la sociedad confía *demasiado* en la ciencia y poco en la religión, en una sociedad considerada laica. Se rechaza, en cambio la idea de que estos conocimientos resulten innecesarios. Sin embargo, cuando se trata de empleo, los ordenadores y la robótica están asociados con su destrucción. La idea del riesgo resulta vital en nuestra sociedad. Estos avances *pueden* ser peligrosos. A esa pregunta, la respuesta es de casi la mitad que estima que son muy o bastantes peligrosos para las personas y en mayor medida para el medio ambiente.

En conclusión, este primer estudio revela opiniones diversas respecto a los avances tecnológicos en España. Todos loan sus virtudes pero también miden sus riesgos. Hay acuerdo en la financiación del Estado pero esto va unido a una percepción de que destruyen más empleo del que crean. La opinión sobre la confianza que generan se comparte o mejor, compite, con la religión en la mitad de los casos. Digamos entonces, que las opiniones son matizadas. Se ven los beneficios pero también los inconvenientes o riesgos.

En el estudio siguiente 2242, realizado en marzo 1997, se vuelve a preguntar sobre la cuestión del peligro que generan los avances científicos, específicamente en el campo de la biotecnología o la ingeniería genética. Muy o bastante peligroso lo consideran el 57% de las personas, lo que implica un incremento respecto al año anterior. En cambio, la misma percepción respecto al medio ambiente ahora resulta menor, pero superior a la mitad con 53%. Estos avances son percibidos como mucho más peligrosos, todavía, en el medio plazo. Al cabo de dos décadas, la percepción de los riesgos que pueden generar alcanza el 70%. Esta noción de riesgo, contrasta con la opinión de que pueden ser beneficiosos, en menor medida, puesto que sólo alcanza el 52%. Por eso, en un balance entre riesgos y beneficios, las personas han respondido que los primeros pueden ser superiores. Un contraste entre el 38% que comparte esta opinión y sólo el 29% que estima lo contrario.

Finalmente, en el estudio 2292, realizado un año después, en junio 1998, se pregunta sobre las nuevas tecnologías con palabras asociadas y se dan diversas opciones, fundamentalmente dicotómicas. Entre progreso y retraso, la opinión se inclina mayoritariamente por la primera opción con un 86%. En cambio, coherentemente con la opinión sobre la creación de puestos de trabajo del primer estudio del año 1996, el 45% lo asocia con el desempleo y sólo un 38% con creación de puestos de trabajo. La asociación con la deshumanización corresponde a casi la mitad de los encuestados, con un 48%. Mientras que la idea contraria sólo la sostienen el 29%. La comodidad, la eficacia y el conocimiento si están vistos como consecuencias de estos avances con el 86, el 82 y el 77%, respectivamente. La noción de creatividad se

ve como atribuible a estos avances en el 57%. En cambio, la pasividad se le asocia en un escaso 21%.

Las nociones que pueden ser controvertidas son aquellos valores, que normalmente se denominan postmodernos o son atribuidos a estas sociedades, de libertad-control o de igualdad-desigualdad. En el primero de los casos, el 43% ve que estos avances resultan asociados al control y sólo una de cada tres personas lo asocia con la libertad. En el caso de la igualdad, la opinión es positiva pero no mayoritaria. El 44% contra el 30% asocian a la dicotomía igualdad, desigualdad.

En conclusión, de estos tres estudios donde la sociedad española había opinado sobre los avances tecnológicos y específicamente sobre las biotecnologías, se puede decir que están positivamente asociados con aspectos como la comodidad y la calidad de vida. Esta opinión positiva, coexiste con una noción de riesgo para las personas y para el medio ambiente que también está presente en el público encuestado. Esta percepción ha crecido de un año a otro. La idea de control o de destrucción de empleos son otras dos nociones negativas a las que se asocia, más que a su contrario, estos avances. Eso significa que no todos los aspectos de estos avances son vistos como positivos. La sociedad, a través de estas encuestas de opinión, ha planteado reparos a estas cuestiones.

III. FORO

Dentro del Proyecto de Nanotecnología y Derecho, planteé la posibilidad de realizar una discusión en la red sobre la cuestión. Estaba animada por otras que había leído y en la que habían participado gente notable. Evidentemente, se trata de invitaciones especiales. La libertad que da la red puede traer también alguna decepción. Ya se ha dicho, pero en este caso sería conveniente recordarlo, el caudal de información resulta tan elevado que nos perdemos navegando y no siempre encontramos lo que buscamos.

Cabe decir que si la respuesta fue menor de lo que yo esperaba, también resultó muy selectiva. Al igual que en la encuesta realizada por la Fundación suiza, muy poca gente quiso participar. La diferencia fundamental reposa en que nuestro foro iba dirigido a todos. Era abierto. No se enviaron invitaciones personales. Estrictamente no es una encuesta, sino una forma de recabar opiniones.

Esperaba que las respuestas fueran especializadas. Las personas que podían leer la noticia o responder iban a pertenecer, casi con toda probabilidad, al mundo académico y/o de la investigación. Así fue. Dado que se hizo

desde una institución de investigación, las respuestas provinieron de personas que leían habitualmente estas informaciones. Entre inicios de julio y el 2 de septiembre de 2009, se recogieron nueve respuestas personalizadas.

Se plantearon dos preguntas. La primera sobre la sociedad: si debería estar o no implicada en las decisiones sobre los avances tecnológicos, específicamente la nanotecnología. La segunda, se pedía una opinión sobre los grupos o personas que se oponen o temen los cambios. Obviamente, la primera pregunta cosechó un sí unánime. Era lo que cabía esperar. Sin embargo, interesaba conocer las razones más que el apoyo incondicional a la participación social. La segunda resultó más matizada, incluidas manifestaciones como no sabe/no contesta.

El principio para que la sociedad pueda tomar decisiones reside en su formación e información sobre la cuestión. También se matizó en el sentido de decisiones compartidas entre la sociedad y los especialistas. Otros consideraron la complejidad de la participación de la sociedad. Se destacó que la información tiene que ser completa y veraz, lo que significa que los aspectos negativos también deben estar incluidos en la información que se brinde. Otras respuestas establecieron una distinción por países y una propuesta de toma colectiva de decisiones, todos juntos.

La segunda pregunta no obtuvo la unanimidad de la primera y era lo que se pretendía. No era una pregunta con trampa pero sí, provocadora. Se hicieron alusiones a los miedos que genera lo desconocido. También, sobre la falta de estudios empíricos para poder saber si esos miedos resultan fundados en este caso o no. En este aspecto, ya se ha visto que la mayoría de las encuestas o sondeos, incluido este foro, se han destinado hasta el presente a las personas informadas o con una cierta capacitación en el área. En resumen, la mayoría se inclinó por el temor como reacción visceral frente a los cambios. Otros, prefirieron abstenerse ante la falta de estudios sobre la cuestión.

Como conclusión, se podría decir que el Foro refleja el momento en que se encuentran las Nanotecnologías. Pocos saben de qué se trata. Aún, los especialistas en cuestiones de ética, desconocen algunos aspectos fundamentales. Frente a los avances tecnológicos y al igual que los sondeos precedentes, existe acuerdo en la necesidad de información previa y de participación en las decisiones de parte de la sociedad. En cambio, la cuestión de los miedos que genera provocó respuestas divididas. Están los que hacen referencia a reacciones históricas frente a los avances o a la mecanización, comprobables en los últimos tres siglos. Otros, precavidos, prefieren esperar los resul-

tados de estudios empíricos que digan si esos miedos realmente existen en las sociedades informadas y democráticas en que vivimos.

No hay una imagen unívoca sobre la Nanotecnología. Los países invierten en preguntar a los expertos cómo ven los cambios y en solicitarles medidas o sugerencias para la gobernabilidad de la cuestión de estos avances. Todos presumen que la sociedad debe participar. Al mismo tiempo, se pregunta sólo a los expertos ya que no es un tema de público conocimiento. Antes de que se inicien las regulaciones, que por ahora no se sugieren más que las existentes, esperemos que la sociedad esté lo suficientemente informada para que pueda sustentar y tomar sus propias decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- AUSTRALIAN DEPARTMENT OF INDUSTRY, TOURISM AND RESOURCES, 2006, *Summary of recent surveys on nanotechnology undertaken to support the work of the National Nanotechnology Strategy Taskforce* http://www.innovation.gov.au/Industry/Nanotechnology/Documents/Summary_of_Surveys_030620060824155521.pdf.
- CIS (Centro de Investigaciones Sociológicas, España) *Estudio 2213*, Boletín 5, 1996, Madrid.
- *Estudio 2242*, Boletín 11, 1997, Madrid.
- *Estudio 2292*, Boletín 18, 1998, Madrid.
- COBB, M. D. y J. MACOUBRIE, 2004, «Public perceptions about nanotechnology: Risks, benefits, and trust», *Journal of Nanoparticle Research: An Interdisciplinary Forum for Nanoscale Science and Technology*, Volume 6 Number 4, pages 395-405.
- EL AMIN, Ahmed, 27-nov-2006, *German-survey-finds Nanotechnology risks need more study*, <http://www.foodproductiondaily.com/Processing/Nanotechnology-risks-need-more-study->, búsqueda 3 de septiembre 2009.
- NANOTECNOLOGÍA, definiciones ver: Royal Society, Princeton. Se recomienda buscar en inglés.
- IRGC WORKING GROUP ON NANOTECHNOLOGY, 2006, *Chair: MC Roco, member, IRGC PM: E Litten, Survey on Nanotechnology Governance*, Volum B, The Role of Industry, Genève, http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/wgn06-0401_survey_nanotech_governance.pdf.

Nanotecnología: elementos de conexión con el ordenamiento jurídico internacional

ANNA M. BADIA MARTÍ

SUMARIO.—I. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA SOCIEDAD INTERNACIONAL.—II. NUEVAS TECNOLOGÍAS Y COOPERACIÓN AL DESARROLLO.—III. DERECHO INTERNACIONAL DE LOS DERECHOS HUMANOS.—IV. MARCO REGULADOR.

El interés e impacto que tiene en los años recientes la nanotecnología es importante a la luz de los esfuerzos económicos, humanos y de fomento de su investigación que realizan tanto los gobiernos, algunas OOI, las empresas y la comunidad científica. La potencialidad de los productos «nano» en la protección del medio ambiente, medicina, robótica o en material militar es de grandes proporciones.

La nanotecnología se inserta en el contexto de las nuevas tecnologías que se ha convertido en una de las características de la Sociedad Internacional de nuestro tiempo, por sus repercusiones en la esfera de la propiedad intelectual, la cooperación científica, el desarrollo económico, y también por la forma en que se desarrolla la actividad, a través de redes.

Las expectativas de poder y beneficio inherente a la potencialidad de nuevos desarrollos, deben encuadrarse en el contexto político, social, económico y jurídico en el que se produce. Por tanto, esta nueva tecnología tiene aspectos de contenido jurídico en los que encuadrarse: comités de ética de las investigaciones científicas, respeto a los derechos humanos en la medida en que éstos puedan verse afectados, la vigencia del principio de precaución, las pautas de registro de propiedad intelectual e industrial, por poner algunos ejemplos.

El posicionamiento del que aquí se parte, por tanto, es que se está ante una nueva tecnología, cuyo conjunto de actividades deben conectarse con el derecho en vigor, la nueva realidad científica se desempeña en un contexto socio-jurídico y se debe proceder a establecer los correspondientes vínculos jurídicos e incorporarlos a la reglamentación.

La actual dimensión internacional de las nuevas tecnologías y su impacto como no podía ser de otra manera, tiene su repercusión en el ámbito jurídico internacional. Junto con el impacto de la comunidad científica en la formulación de estándares y proposiciones normativas, y su participación en las OOI en los diferentes ámbitos de competencia, la práctica internacional muestra la creciente implicación de la materia en la esfera universal desde otros ámbitos como el empresarial y el gubernamental.

Dos manifestaciones de las nuevas tecnologías han puesto en evidencia esta realidad: la biotecnología, y las nuevas tecnologías de la información y las telecomunicaciones, cada una de ellas tiene sus diferentes campos de incidencia, y tienen abiertas vías de tratamiento. La alerta que han generado y los precedentes que constituyen han abierto un debate sobre cómo debe enfocarse la nanotecnología, en qué ámbitos incide y si debe ser objeto de un tratamiento específico y cuál debe ser el modelo a seguir.

Además, al impacto que se deriva de la actividad debe sumarse la forma en que se realiza la actividad en esta sociedad globalizada.

El tema es altamente sugerente e incentiva el interés por el seguimiento de las proposiciones normativas así como la identificación de los ámbitos de incidencia. En esta primera aproximación de carácter preliminar, la primera cuestión que interesa destacar es la forma en que se desarrolla la actividad científica, a través de redes, que comporta un nuevo elemento en la forma de afrontar la cuestión. Elemento que incide y entronca con la consideración de la tecnología como factor de desarrollo. El tercer elemento sobre el que queremos llamar la atención es la identificación de los derechos humanos y por último queremos plantear si es conveniente un marco regulador en la materia a la luz de los precedentes existentes.

I. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA SOCIEDAD INTERNACIONAL

La revolución científico-técnica no es característica de la sociedad internacional actual sino que se ha producido en etapas anteriores y con incidencias más que evidentes, piénsese por ejemplo en la revolución industrial.

La especificidad del momento presente reside, entre otras cuestiones, en la combinación entre revolución tecnológica y mundialización que da paso a una nueva era de **redes**, como se puso de manifiesto en el Informe sobre el Desarrollo Humano 2001; comparando diferentes etapas de la Sociedad internacional se afirma:

«La era industrial se estructuró en torno a organizaciones integradas verticalmente, con altos costos en materia de comunicaciones, información y transporte. Pero la era de las redes se estructura en torno a vínculos horizontales en que cada organización se centra en espacios competitivos. Estas nuevas redes atraviesan continentes y tienen puntos de convergencia desde Silicon Valley (Estados Unidos) hasta San Pablo (Brasil), o Gauteng (Sudáfrica) o Bangalore (India)»¹. Ello se manifiesta en la investigación científica, que se apoya en la colaboración entre las diferentes instituciones y distintos países, y también en el mercado laboral dando lugar a una importante movilidad de los científicos y del personal más capacitado, «en consecuencia, las inversiones en educación que efectúan los países en desarrollo subsidian las economías de los países industrializados»².

La rápida mundialización de las actividades económicas, científicas y tecnológicas se ha caracterizado por la aparición de industrias basadas en los conocimientos tecnológicos. La relación entre estas industrias y la mundialización de la economía están íntimamente relacionados, se afirma que: «la mundialización ha impuesto un entorno más intensamente competitivo y nuevas exigencias para mantener la competitividad. Este nuevo entorno competitivo ha favorecido el crecimiento de la producción basado en un uso intensivo de los conocimientos tecnológicos al aumentar las interacciones científicas y tecnológicas, lo que a su vez ha dado lugar a una aceleración del ritmo a que se generan nuevas ideas»³.

El establecimiento de asociaciones y redes se considera uno de los modos idóneos de gestionar las nuevas tecnologías, fundamentalmente porque responde a los intereses en presencia. Por asociaciones puede entenderse: «una relación en ambos sentidos que implica un compromiso a largo plazo entre dos o más partes y cuyo objetivo es compartir conocimientos, promover capacidad tecnológica, fomentar la innovación y fortalecer la competitividad.

1. PNUD, *Informe sobre el desarrollo humano 2001, poner el adelanto tecnológico al servicio del desarrollo humano*, Edit. Mundi Prensa, 2001, p. 5.

2. *Ibid.*

3. COMISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DESARROLLO, *Grupo de trabajo sobre ciencia y tecnología. Asociaciones de ciencia y tecnología y establecimiento de redes para el fomento de la capacidad nacional. Informe de la Secretaría de la UNCTAD*, E/CN.16/1999/2 de 22 de marzo de 1999, p. 2 párrf. 1.

Las asociaciones de este tipo implican una interacción y dependencia mutua, así como compartir los riesgos y los costos y el acceso a los mercados y el poder»⁴.

Por Redes entendemos «un grupo de instituciones o asociaciones cuyo objetivo es promover la capacidad para llevar a cabo investigaciones y mejorar la capacidad y la educación mediante la interacción. Los asociados se benefician de su participación en la red al tener acceso a nuevas ideas, metodologías, información y materiales de capacitación... Las redes ponen en contacto a instituciones y empresas que desean compartir sus experiencias, los resultados de las investigaciones, sus conocimientos e información a fin de obtener otros conocimientos y mejorar la innovación. Una red tiene que ser eficaz para poder competir con otras formas de organización. Una de las características es que no exige proximidad geográfica entre los participantes»⁵.

El impacto económico de la nueva realidad científica y tecnológica es de grandes proporciones y al mismo tiempo que es un motor para el crecimiento, lo cierto es que la brecha tecnológica es cada vez mayor y es una de las causas de la diferencia de crecimiento socioeconómico.

II. NUEVAS TECNOLOGÍAS Y COOPERACIÓN

La acción de cooperación internacional en materia científica y tecnológica tiene dos vertientes, por un lado la cooperación científica *strictu sensu*, y la que se incardina en las relaciones internacionales de carácter general que se vincula directamente con el desarrollo económico. Las imbricaciones en ambas esferas de cooperación se producen en la práctica y sus consecuencias están íntimamente relacionadas.

La cooperación científica, propiamente dicha, es la que se produce a través del intercambio de opiniones de la comunidad científica de una misma especialidad y disciplinas afines y contribuye al avance de la investigación. Ahora bien, esta actividad, enmarcada en el contexto de las universidades y de instituciones de investigación, tiene también un componente político, que lo proporciona la financiación de sus actividades⁶. Además, no puede en

4. COMISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DESARROLLO, *Grupo de trabajo sobre ciencia y tecnología. Asociaciones de ciencia y tecnología y establecimiento de redes para el fomento de la capacidad nacional. Informe de la Secretaría de la UNCTAD*, E/CN.16/1999/2 de 22 de marzo de 1999, p. 7 párrf. 15.

5. *Ibid.* Párrf. 16.

6. Provenientes de los fondos públicos, que responden a una política científica determinada o bien la investigación financiada por fondos privados de diferente origen.

ningún caso prescindir de su tarea de asesoramiento técnico y científico a los entes gubernamentales en la toma de decisiones, por lo que su papel es determinante en todos los niveles (entes sub-estatales, estatales, en las organizaciones de cooperación y en las de integración).

La capacidad de decisión está vinculada a la acción gubernamental en el momento en que las asociaciones científicas utilizan un criterio de organización de base territorial, que incorpora el elemento de nacionalidad de la misma, y en base a ella participan en la esfera internacional. La comunidad científica, además, tiene una importante capacidad normativa, de autorregulación, sirva de ejemplo los códigos éticos que orientan el comportamiento científico o bien en los estándares de los ensayos clínicos.

El papel de la cooperación científica y tecnológica vinculada a la consecución del crecimiento económico y el bienestar de la sociedad internacional, se refleja en el contexto en que se desarrollan las relaciones internacionales y está sometido a sus avatares.

Así, dependiendo de los intereses del momento, la acción internacional toma diferentes enfoques, ello se evidencia en la manera de tratarlo en el ámbito de NNUU, que sin ser competente en materia científica⁷, sí incorpora la actividad científico-técnica desde la perspectiva económica y de seguridad.

La acción de NNUU se inicia en 1949 en la Conferencia científica de las Naciones Unidas para la utilización de los recursos naturales, en la década de los cincuenta se vincula a la utilización de la energía atómica, enfoques que tienen un marcado carácter instrumental.

Dos son los criterios utilizados en este período: el criterio «tecnológico» en la conferencia de Ginebra y el criterio de «progreso económico» lo proporciona la Conferencia de las NNUU sobre la aplicación de la ciencia y la tecnología en beneficio de las regiones menos desarrolladas, celebrada en Ginebra en 1963.

En esta Conferencia de 1963 se tomó conciencia de la conveniencia de articular la transferencia de tecnología. Como en otros muchos casos en la diplomacia multilateral, el resultado de la Conferencia se concretó en la creación de un órgano subsidiario del Consejo económico y Social: el Comité Asesor sobre la aplicación de la Ciencia y la Tecnología al desarrollo

7. El sistema de NNUU se organiza formalmente en un sistema de especialización y de coordinación entre las Organización general, NNUU y los Organismos especializados vinculados a ella a través de tratado internacional.

(CACT)⁸. El órgano presentó en 1971 un Plan Mundial de Acción para la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología al desarrollo. Su incidencia fue escasa, al parecer por carecer de dimensión político diplomática, comentario que se deriva del hecho de que el Consejo Económico y Social estableció en 1973 el Comité de ciencia y tecnología del desarrollo. En esta etapa de la Conferencia de Ginebra, se califica el criterio utilizado de «tecnológico».

La década de los años setenta cambia la vía de tratamiento, la ciencia y la tecnología se trata desde la perspectiva de los países en desarrollo para dar cabida a sus reivindicaciones, y en el contexto de una cada vez mayor brecha en la materia entre los países desarrollados y subdesarrollados; en definitiva, en el contexto del Nuevo Orden económico internacional.

El resultado fue la Conferencia de las NNUU sobre la ciencia y la tecnología para el desarrollo de 1979⁹, en la que se aprobó el Plan de Acción de Viena¹⁰, enfocándose el tema bajo un criterio «normativo»¹¹, buscando el acceso equitativo a la ciencia y la técnica, a través de la asunción de obligaciones por parte de los Estados.

A los diez años de la adopción del Plan, sin dejar de considerarse sus presupuestos válidos¹² a nivel programático, los Estados no habían dotado de contenido normativo la propuesta formulada. El contexto internacional y el referente económico ha cambiado sustancialmente del que imperó a finales de los años setenta, la liberalización económica, el ritmo acelerado de la mundialización tras el final de la división este-oeste y la apertura de los mercados de los países en desarrollo, marca las etapas siguientes.

Las aportaciones de las dos Conferencias referenciadas no son desdeñables, han contribuido a la toma de conciencia del reto que suponen las nuevas tecnologías y sus implicaciones con el desarrollo económico y en la terminología actual del desarrollo económico sostenible, concepto consensuado

8. Compuesto por 18 miembros a título personal, pertenecientes a las academias de ciencias y los consejos nacionales de investigación de los países del que eran nacionales, para su mandato. *Vid.* Resolución del Consejo económico y social 980 (XXXVI) *Cuestiones relativas a la ciencia y la tecnología* de 1 de agosto de 1963.

9. Signatura A/conf.81/.

10. *Vid.* actividades conjuntas del sistema de las Naciones Unidas para la puesta en práctica del Programa de Acción de Viena sobre la ciencia y la tecnología para el desarrollo, A/CN.11/37.

11. COMISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, *Examen de medios para conmemorar en 1999 el 20º aniversario de la conferencia de Viena sobre ciencia y tecnología para desarrollo y visión del papel de las Naciones Unidas en materia de ciencia y tecnología para el desarrollo. Nota de la secretaría de la UNCTAD*, E/CN.16/1997/7 de 11 de marzo de 1997 párrf. 19 p. 10.

12. A/Res. 44/14, *Programa de acción de Viena sobre la ciencia y la tecnología para el desarrollo* de 26 de octubre de 1989.

en la Conferencia de Río Janeiro de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Al mismo tiempo que siguen manteniéndose las dificultades de su tratamiento.

Si el factor determinante en Ginebra era la comunidad científica y en Viena la voluntad de los gobiernos, hoy se siguen manteniendo como agentes e interlocutores en la cooperación científica y técnica, y a ello debe sumársele las empresas privadas.

La situación actual se encuadra a su vez en los Objetivos de Desarrollo del Milenio¹³ para cuya consecución «... requerirá una reorientación de las políticas nacionales de ciencia, tecnología e innovación para que contribuyan eficazmente a satisfacer las necesidades del desarrollo»¹⁴. Para incentivarlo se promueve el establecimiento de políticas nacionales que permitan la generación, difusión y aplicación de los conocimientos científicos, el establecimiento de asociaciones entre los círculos académicos, gobiernos y la industria y se considera decisivo «... el acceso a las tecnologías nuevas e incipientes, lo cual requiere la transferencia de tecnología, la cooperación técnica y el fortalecimiento de la capacidad científica y tecnológica para participar en el dominio de esas tecnologías y su adaptación a las condiciones locales»¹⁵.

III. DERECHO INTERNACIONAL DE LOS DERECHOS HUMANOS

En la Conferencia Internacional de Derechos Humanos, Teherán 1968, se encomendó un estudio con la participación de todo el sistema de NNUU sobre los problemas que pudieran plantearse en relación con los derechos humanos y la ciencia y la tecnología, y así se inició el proceso en la Asamblea General, que adoptó sucesivas resoluciones.

El tema se debate en la Comisión de Derechos Humanos, que ha concretado su actividad en pronunciamientos y estudios sobre manifestaciones específicas: el establecimiento de unos principios rectores sobre la reglamenta-

13. Constituyen un conjunto de objetivos, metas e indicadores a plazo fijo y cuantificables, para luchar contra la pobreza, el hambre, las enfermedades, el analfabetismo, la degradación del medio ambiente y la discriminación contra la mujer (A/Res. 55/2, Declaración del Milenio de 8 de septiembre 2009).

14. COMISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO, *Promoción de la aplicación de la ciencia y la tecnología para alcanzar los objetivos de desarrollo consignados en la declaración del Milenio, informe del Secretario General*, Doc.E/CN.16/2004/2 de 7 de abril de 2004, p. 1.

15. *Ibid.*

ción de los ficheros computarizados de datos¹⁶, establecimiento con urgencia de principios y garantías para proteger a las personas que padecían una enfermedad mental o que habían sido detenidas por razones de salud mental¹⁷.

Probablemente, el tratamiento particularizado de una realidad concreta a la luz del conjunto de derechos humanos internacionalmente reconocidos sea la forma que permita afrontar la protección de los derechos humanos afectados por la actividad científica y tecnológica concreta.

El tratamiento indicado sigue sus vías, y probablemente estemos en una etapa de expansión. Junto a ello, desde mi punto de vista, debe potenciarse y desarrollarse el contenido del artículo 27¹⁸ de la Declaración Universal de los Derechos Humanos y el artículo 15¹⁹ de los Pactos de Derechos Civiles y Políticos, relativos al derecho a participar en el progreso científico, que ha tenido una escasa repercusión jurídica y el derecho a beneficiarse de la protección de los intereses morales y materiales que le corresponde por la producción científica, literaria o artística²⁰, lo que entra o puede entrar en colisión con el ejercicio de determinados derechos de propiedad intelectual. La convivencia entre ambos derechos en supuestos concretos puede no ser pacífica, tema que está en período de discusión.

Sobre la naturaleza de estos derechos se ha afirmado:

«En contraste con los derechos humanos, los derechos de propiedad intelectual son generalmente de índole temporal y es posible revocarlos, au-

16. Aprobados por la A/Res. 44/132 y periódicamente revisados. *Vid.* también el informe del profesor JOINET, *Principios rectores pertinentes a la utilización de los ficheros computarizados de datos personales*, Doc. E/CN.4/Sub.2/1983/18.

17. *Vid.* A/Res. 42/98, *Consecuencias de los progresos científicos y tecnológicos para los derechos humanos*, de 7 de diciembre de 1987, en ella se mencionan los principios de la ética médica aplicables a la función del personal de salud, especialmente los médicos en la protección de las personas presas y detenidas contra la tortura y otros tratos o penas crueles, inhumanos o degradantes (contenidos en A/Res. 37/194, anexo).

18. «1. Toda persona tiene derecho a tomar parte libremente en la vida cultural de la comunidad, a gozar de las artes y a participar en el progreso científico y en los beneficios que de él resulten.

2. Toda persona tiene derecho a la protección de los intereses morales y materiales que le correspondan por razón de las producciones científicas, literarias o artísticas de que es autora».

19. «1. Los Estados Partes en el presente Pacto reconocen el derecho de toda persona a: a) Participar en la vida cultural; b) Gozar de los beneficios del progreso científico y de sus aplicaciones; c) Beneficiarse de la protección de los intereses morales y materiales que le correspondan por razón de las producciones científicas, literarias o artísticas de que sea autora».

20. Para un estudio del proceso de redacción de ambos textos, *vid.* COMITÉ DE DERECHOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y CULTURALES, *El proceso de elaboración del apartado c) del párrafo 1*

torizar su ejercicio o cederlos a terceros. Mientras que en la mayoría de los sistemas de propiedad intelectual los derechos de propiedad intelectual, a menudo con excepción de los derechos morales, pueden ser transmitidos y son de alcance y duración limitados y susceptibles de transacción, enmienda e incluso renuncia, los derechos humanos son la expresión imperecedera de un título fundamental de la persona humana. Mientras que el derecho a beneficiarse de la protección de los intereses morales y materiales resultantes de las producciones científicas, literarias o artísticas propias protege la vinculación personal entre los autores y sus creaciones entre los pueblos, comunidades y otros grupos y su patrimonio cultural colectivo, así como los intereses materiales básicos necesarios para que contribuyan, como mínimo, a un nivel de vida adecuado, los regímenes de propiedad intelectual protegen principalmente los intereses e inversiones comerciales y empresariales»²¹.

IV. MARCO REGULADOR

No existe en la actualidad un marco, ni siquiera a nivel programático²², que establezca los principios jurídicos internacionales que operan en las nuevas tecnologías. La conveniencia de un pronunciamiento jurídico sobre ello, ayudaría ampliamente a los desarrollos normativos internos e internacionales que cabe esperar y son necesarios a la luz de las implicaciones crecientes que tienen.

El impacto de cada una de las áreas de actividad científica y el cómo tratarla difieren, pero son ilustrativos para plantear cómo puede enfocarse en materia de nanotecnología.

– Si acudimos a las nuevas tecnologías de la información y las telecomunicaciones (TIC) vemos que afectan a todos los sectores, y es una herramienta eficaz para el desarrollo y la erradicación de la pobreza, por ejemplo: «puede facilitar el acceso a la información comercial y reducir los costos de transacción para los agricultores y comerciantes.

del artículo 15 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, Doc. E/C.12/2000/15 de 9 de octubre de 2000.

21. COMITÉ DE DERECHOS ECONÓMICOS SOCIALES Y CULTURALES, *Observación general*, núm. 17 (2005), derecho de toda persona a beneficiarse de la protección de los intereses morales y materiales que le corresponde por razón de las producciones científicas, literarias o artísticas de que sea autor(a) (apartado c del párrafo 1 del artículo 15 del Pacto).
22. Como sería una declaración adoptada por consenso por la Asamblea General de las NNUU.

El acceso a Internet puede resultar especialmente positivo para los productores de productos básicos ya que les permite tener acceso directo a los consumidores sin necesidad de agentes e intermediarios. El comercio electrónico ofrece la posibilidad de que el Estado adopte iniciativas para las transacciones comerciales y el intercambio de información en línea sobre productos. Se ha demostrado que estas técnicas resultan importantes en la publicidad y promoción del turismo, que para muchos países en desarrollo es un medio importante de obtener divisas»²³.

Entre los riesgos que acompañan a las TIC puede señalarse, entre otros el dominio de Internet por un número reducido de empresas o los temas relacionados con la seguridad, la «violación de la seguridad en las comunicaciones y el almacenamiento de datos representa una amenaza no sólo a la intimidad del individuo, sino también para la competitividad en las industrias y la seguridad nacional de los países».

Las TIC, sin embargo, no han encontrado unos parámetros de tratamiento mínimo aceptables para la comunidad internacional en su conjunto y que permitan proteger los intereses de las personas bajo unas coordenadas de respeto mínimo a los derechos fundamentales a nivel general.

El interés que suscita y la necesidad de gestión y gobernanza, se canaliza a través de la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información²⁴, que funciona por medio de Conferencias. El punto de arranque fue la aprobación de un Plan de Acción en 2003. Aunque no se ha llegado a resultados concretos, sí está abierto el diálogo con todos los actores implicados, aunque no existe un claro liderazgo sobre la materia.

Tratamiento distinto es el de la biotecnología²⁵. Su impacto se manifiesta en la agricultura, la atención a la salud, la elaboración de alimentos, la protección ambiental y la minería. Su aplicación genera expectativas de cambio y beneficios, como aumento de la producción, mejoras en la sanidad, en los costos económicos. Paralelamente, por la rapidez en los avances y las incógnitas respecto a su aplicación, suscita incertidumbres científicas sobre posibles efectos negativos y dudas sobre la evolución de los riesgos.

23. COMISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO, *Promoción de la aplicación de la ciencia y la tecnología para alcanzar los objetivos de desarrollo consignados en la declaración del Milenio*, informe del Secretario General, Doc. E/CN.16/2004/2 de 7 de abril de 2004, párrf. 32 p. 12.

24. <http://www.itu.int/wisis>.

25. No existe una noción universal, por tal puede entenderse «la aplicación de la ciencia biológica a la manipulación y el uso de seres vivos para fines humanos» (A. T. BULL, G. HOLT y M. D. LILLY, *Biotechnology: International Trends and Perspectives*, OCDE, Paris, 1982, p. 21, citado en E/CN.16/1999/).

Su incidencia va acompañada también de inquietud por los aspectos éticos y socioeconómicos, principalmente derivados de los progresos en genética y su aplicación en la manipulación de genes.

En los últimos quince o veinte años, especialmente en los países desarrollados, los frentes en los que se trata el tema son amplios tanto por la diversidad de sectores en que incide (medicina, farmacia, veterinaria, química, ambiental...) como los actores implicados (diferentes unidades de la administración estatal, empresas privadas, y comunidad científica), generándose un importante entramado de relaciones nada fácil de gestionar, realidad que incide en la fijación de las políticas públicas en el plano interno de los Estados y evidencia la disparidad de desarrollo entre los mismos.

La dimensión internacional de su tratamiento tiene algunos elementos determinantes que conviene tener presente. Así, por ejemplo, la forma de funcionar a través de las denominadas «redes», que conduce o puede conducir a un tratamiento en paralelo o al margen de lo político/jurídico, característico del fenómeno de la globalización. Otro elemento es la dimensión transversal del tema, por las implicaciones en diferentes esferas, y su carácter transnacional, que afecta a los intereses no sólo de los poderes públicos sino de los ciudadanos y sus diferentes entes organizativos, en los que se incluye las organizaciones científicas y las empresas.

Entiendo que la acción jurídica internacional se expresa en tres ámbitos materiales y reflejan los temas de preocupación: propiedad intelectual, seguridad biológica, bioética y derecho humanos.

a. Propiedad intelectual.

La regulación de la propiedad intelectual se articula en el entorno a la OMPI (Organización Mundial de Propiedad Intelectual) y los acuerdos que gestiona. Sobre su reglamentación se ha puesto de manifiesto, en cuanto a la transferencia de tecnología dos aspectos, «En primer lugar según sea la tecnología patentada y su aplicación en el país receptor, algunos países no quieren transferir tecnologías a países que no pueden hacer respetar rigurosamente sus derechos de propiedad por medio de regímenes de derechos de propiedad intelectual, en particular patentes. En segundo lugar, cuando vencen las patentes, la tecnología descrita en ellas con todo detalle pasa a ser del dominio público, de modo que las oficinas nacionales de patentes son una buena fuente de conocimientos científicos y técnicos»²⁶.

26. Doc. E/CN.16/2001/2 de 2 de abril de 2001, párrf. 47 p. 17.

Este régimen debe completarse con los acuerdos que gestiona la OMC, que reglamentan temas de propiedad intelectual, oponibles a los Estados Miembros, lo que viene a cuestionar el papel de la propiedad intelectual en la transferencia de tecnología, tal como se trata en el contexto de la OMPI.

El convenio rector en la materia es el acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC). En él los temas de biotecnología son: las patentes sobre microorganismos y otra materia viva, en especial genes humanos; y los derechos de propiedad intelectual sobre plantas, por medio de la pertenencia a la Unión para la protección de las Obtenciones Vegetales o de un sistema *sui generis* –(entendiéndose por tal como «único», y se refiere a un régimen legislativo de regulación para la protección de las plantas como propiedad intelectual. La calificación de *sui generis* se refiere sólo a la protección de las obtenciones vegetales)–.

En definitiva, el Acuerdo sobre los ADPIC permite patentes sobre microorganismos, y en algunos países industrializados se incluye material genes, secuencias genéticas y plásmidos.

En este ámbito otro elemento no pacífico y de difícil aplicación del régimen previsto de Propiedad intelectual es la incompatibilidad del «saber tradicional». Efectivamente, éste se transmite de generación en generación, y por tanto «no es recién creado», por lo que no reúne los requisitos de innovación que requieren los regímenes convencionales de propiedad intelectual. A ello debe añadirse que el conocimiento pertenece a comunidades, y el régimen convencional está previsto para personas individuales.

b. Seguridad biológica.

Nos sitúa en el tema debatido de los organismos modificados genéticamente. El debate gira en torno a los riesgos de su cultivo, ya que pueden poner en peligro la biodiversidad y comportar la extinción de valiosos recursos biológicos, existe la posibilidad de una polinización cruzada con variedades de cultivo no genéticamente modificado.

El punto de partida en su tratamiento es la adopción de medidas nacionales que reglamentan su utilización y en el establecimiento de comités que velen por la aplicación de las políticas nacionales; la diversidad de aproximaciones y en su caso de ausencia de tratamiento, constituye un peligro importante, se requiere un enfoque global y universal, difícil de gestionar ante la disparidad de estadios en que nos encontramos.

El texto de referencia lo constituye el Protocolo de Cartagena del convenio sobre diversidad biológica, dirigido a regular el comercio internacional

de los organismos vivos modificados, no de fácil eficacia y que puede entrar en contradicción con la reglamentación de la OMC²⁷.

Se promueve un tratamiento regional a través de pactos dirigidos a la armonización de normas de cada país en materia de seguridad biológica. En la divulgación de prácticas y normas en la materia cuyo conocimiento puede inspirar actividades posteriores, destaca la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) que tiene una Red de Información y Servicio Consultivo sobre seguridad biológica (BINAS)²⁸; también realizan actividades en la materia la FAO, PNUMA, la Unión Europea y el Servicio Internacional para la Investigación Agrícola Nacional (ISNAR).

c. Bioética y derechos humanos en el marco de la UNESCO. El texto internacional que relaciona y vincula las nociones de bioética, derechos humanos en el plano político/jurídico internacional es la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos, aprobada por la UNESCO el 19 de octubre de 2005.

Texto que, desde la perspectiva del ordenamiento jurídico internacional, significa la entrada en esta rama del ordenamiento de los aspectos científicos y técnicos vinculados con la vida desde el prisma del derecho internacional de los derechos humanos. Dicho en otras palabras, el texto establece el marco regulador de la materia desde el ordenamiento internacional, y establece las bases de regulación posterior, como texto inspirador de los desarrollos normativos internos e internacionales²⁹. La Declaración, a mi juicio, pone de manifiesto la conveniencia de no abandonar, bajo ningún concepto, la

27. En relación a estas contradicciones se señala el principio de prevención sobre la evaluación del riesgo que se establece en el Protocolo, según el cual «... no puede alegarse la ausencia o insuficiencia de certidumbre científica sobre posibles riesgos de una tecnología para afirmar que es segura. En este caso la carga de la prueba recae en el país que exporta la tecnología, que debe demostrar que ésta no pone en peligro la vida y la salud de los seres humanos, los animales o las plantas. Por otra parte los acuerdos de la OMC que permiten imponer restricciones al comercio para proteger la salud y el medio ambiente establecen que es el país importador el que debe justificar las restricciones», COMISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO, *Informe de síntesis sobre los grupos de la comisión de ciencia y tecnología para el desarrollo sobre el fomento de la capacidad nacional en biotecnología*, Doc. E/CN. 16/2001/2 de 2 de abril de 2001, párrf. 59 p. 20.

28. <http://binas.unido.org/binas>, contiene una base exhaustiva sobre normas en materia de seguridad biológica e información sobre liberación de organismos modificados genéticamente.

29. Para un comentario por artículos *vid.* CASADO, M. (Coord.), *De la dignidad y los principios: La Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos UNESCO*, Edit. Civitas, 2009. TEN HAVE, H., *The UNESCO Universal Declaration on Bioethics and Human Rights: Background, Principles and application*, Edit. UNESCO 2009.

dimensión jurídica internacional del tema y abogar por su desarrollo normativo profundizando en la asunción de obligaciones normativas basadas en el derecho internacional de los derechos humanos.

La biotecnología ha recibido un tratamiento sectorial de su ámbito de incidencia, no en cambio las TIC, probablemente por el alto componente de privatización que existe en su gestión.

Por el momento no se vislumbra cuál va a ser la línea de gestión de la nanotecnología y los productos que se derivan de su aplicación. Estudios recientes muestran la conveniencia de un tratamiento por la modalidad de un convenio marco, que establezca las líneas básicas y principios jurídicos generales y, se complemente con Protocolos adicionales que se refieran a materias concretas³⁰, en la misma vía del Convenio marco sobre el cambio climático. La bondad de este marco de gobernanza estriba en la consideración de que facilita el diálogo político sobre la materia, establece la bases jurídicas de su tratamiento y permite la participación de los diferentes actores, no exclusivamente a los representantes gubernamentales³¹.

30. Ésta es la postura trabajada por Kenneth W. ABBOT, *vid.* por todos «A Framework Convention for Nanotechnology?», *Environmental Law Reporter*, 2006.

31. Para una aproximación a la nanotecnología desde diferentes Estados y organizaciones internacionales *vid.* BOWMAN, D. M. y HODGE, G. H., «A small matter of regulation an internacional review of nanotechnology regulation», *The columbia science and technology law review*, 2007, vol. VIII.

Principios de precaución y gestión del riesgo en el contexto de la nanotecnología

MARÍA CASADO
MIRENTXU CORCOY

SUMARIO.—I. INTRODUCCIÓN.—II. PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN: ORÍGENES Y CONCEPTO.—III. PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN EN UN ESTADO SOCIAL Y DEMOCRÁTICO DE DERECHO.—IV. FUNCIÓN DEL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN EN EL DESARROLLO DE LAS NANOTECNOLOGÍAS.—V. RIESGO PERMITIDO Y PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN.—VI. PROBLEMAS SOCIOLÓGICOS EN LA APLICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA. PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN Y PRINCIPIO DE PROPORCIONALIDAD.—BIBLIOGRAFÍA.

I. INTRODUCCIÓN

El principio de precaución se viene utilizando desde hace décadas en relación con los riesgos derivados de los avances tecnológicos y científicos. Frente a un primer momento en el que cualquier avance científico era considerado positivamente¹, en la actualidad, a la vista de las gravísimas consecuencias que se han derivado de determinados logros científicos, aumentan los filtros y la «precaución» antes de permitir que se apliquen esas innovaciones. Cuando se desconoce las consecuencias de un determinado avance científico y se advierte que supone un riesgo, científicamente posible pero incierto, se deben adoptar medidas para evitar o disminuir ese peligro².

1. Hasta finales del S. XX las críticas a los avances y descubrimientos científicos sólo provenían de determinadas creencias religiosas que, sintéticamente hablando, consideraban que los avances del hombre suponían una amenaza para su dios, por entender que el hombre trataba de equipararse a él.
2. «Le principe de précaution», Comisión Mundial de Ética del Conocimiento Científico y la Tecnología (COMEST), UNESCO, marzo de 2005. La propuesta del COMEST, se refiere a un «*peligro moralmente inaceptable*». No obstante, consideramos que no puede afirmarse que sólo sea moralmente inaceptable sino que es socialmente inaceptable y, en consecuencia, jurídicamente inaceptable. La acepción, en alguna manera, religiosa del término moral aconseja no utilizar esa terminología y, en su caso, hacer referencia a lo ético, lo social y/o lo jurídico.

Para la calificación de un riesgo como inaceptable es necesario, en primer lugar, que suponga un peligro para derechos fundamentales, tales como la vida, la salud, o los derechos de las generaciones futuras y del medio ambiente³. En la valoración de la calificación de ese riesgo como inaceptable hay que tomar en consideración, frente a la naturaleza del derecho afectado y la mayor o menor gravedad de dicho riesgo, la utilidad de la actividad, en relación, precisamente, con la salvaguardia de esos mismos derechos. Es decir, en este contexto es esencial la referencia al principio de proporcionalidad.

Previo al juicio de proporcionalidad, a realizar desde la ética y/o el derecho, es necesario llevar a efecto el juicio de verosimilitud que debe basarse en un análisis científico que tenga en cuenta el propio riesgo, la posibilidad de adoptar medidas de control de éste y los beneficios que puedan derivarse de la aplicación de esa técnica. La valoración científica del riesgo no puede ser definitiva sino que debe reconsiderarse en base al desarrollo de la actividad, en tanto en cuanto se vaya teniendo un mayor conocimiento científico de las consecuencias que puedan derivarse o/y de las medidas de precaución que pueden adoptarse para controlar el riesgo.

Las medidas de precaución tratan de evitar que el riesgo que supone la actividad se concrete en lesiones de derechos fundamentales o/y de grave riesgo para la indemnidad de las generaciones futuras o/y del medio ambiente. Las medidas de precaución adoptadas han de ser de idóneas y proporcionadas, respecto del riesgo que se trata de evitar y en relación con los beneficios que se pretende obtener⁴. La utilidad de la actividad es un elemento esencial en orden a establecer los criterios de proporcionalidad. Un avance que, ya desde un principio, carezca de efectos beneficiosos y sirva únicamente a la experimentación en ningún caso puede admitirse, aun cuando los riesgos no sean muy elevados. El grado de utilidad o eficacia del avance depende de la finalidad que tenga y de la existencia o no de otras medidas, igualmente

3. Para COMEST el peligro moralmente inaceptable es un peligro para los seres humanos o el medio ambiente que:
 - supone una amenaza para la vida o la salud humanas, o
 - es grave y realmente irreversible, o
 - es injusto para las generaciones presentes o venideras, o
 - se impone sin que se hayan tenido debidamente en cuenta los derechos humanos de los que sufren sus consecuencias.
4. Para COMEST, las acciones son intervenciones que se efectúan antes de que el peligro se produzca con vistas a evitarlo o reducirlo. Las acciones escogidas deben ser proporcionales a la gravedad del peligro potencial, tomar en consideración sus consecuencias positivas y negativas, y comprender una evaluación de las repercusiones morales de la acción y de la inacción. Toda opción por la acción debe ser el resultado de un proceso participativo.

eficaces, y menos lesivas. No se puede valorar igual un avance que esté dirigido a curar una enfermedad que otro que suponga una mejora en la productividad. Las medidas a adoptar pueden ir desde la prohibición de esa actividad –en los casos en los que carezca de una utilidad valorable positivamente desde una perspectiva ética– a establecer requisitos que deban adoptarse antes de que esa tecnología sea aplicada fuera del laboratorio⁵.

II. PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN: ORÍGENES Y CONCEPTO

El principio de precaución surge a partir de los problemas medioambientales a mediados del S. XX. A nivel internacional se utiliza por primera vez en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano (Estocolmo, 1972). La consolidación internacional del principio de precaución tiene lugar a partir de su incorporación, como Principio 15^{o6}, de la Declaración de Río de Janeiro, en 1992, sobre «El Medio Ambiente y el Desarrollo», que pretende reafirmar y desarrollar la Conferencia de Estocolmo. Lo que se predica en ese principio es la posibilidad de arbitrar medidas de seguridad cuando exista peligro –en ese supuesto para el medio ambiente– siempre que no exista certeza de que no hay riesgo. No obstante, la aplicación del principio de precaución debe ser «precavida» ya que suscita algunos problemas. Desde una primera perspectiva, en base a que su aplicación directa y autónoma puede provocar graves perjuicios económicos para los Estados que las adopten respecto aquellos que no lo hagan, lo que conlleva, así mismo, de forma paralela, una paralización, total o parcial, de los avances científicos⁷. Desde otro punto de vista, hay que poner de manifiesto que la prueba de que no existe riesgo alguno es una prueba diabólica e imposible, en cuanto se trata de probar en negativo⁸.

5. Naturalmente, también dentro del laboratorio se deberán tener en cuenta los riesgos para el personal del mismo de acuerdo con la regulación sobre riesgos laborales; véase en esta misma obra el capítulo a cargo de R. JIMÉNEZ.
6. Principio 15, «*Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente*».
7. Por ello desde distintos ámbitos surgen críticas, como las vertidas por RIECHMANN, J. y TICKNER, J., *El principio de precaución en el medio ambiente y la salud pública: de las definiciones a la práctica*, Ed. Icaria, 2002, afirman que el principio de precaución supone «*un ataque simultáneo contra la ciencia, el progreso y el libre comercio*».
8. Situación que ya se viene produciendo en relación con los alimentos modificados transgénicamente respecto de los que, por ejemplo, finalmente Europa ha debido admitir la comercialización de maíz transgénico, al verse obligada por lo compromisos adquiridos por los Estados miembros de la Organización Mundial del Comercio.

El principio de precaución, también se ha visto como la manifestación actual de la tensión entre riesgo y prudencia, suponiendo una reflexión crítica acerca de cómo se quiere que se lleve a efecto el desarrollo. En esta misma línea, tal y como luego se explicitará, el principio de precaución puede determinar una forma de decisión política más democrática, transparente y respetuosa de los intereses reales de la población, ya que a pesar de que dicho principio está directamente dirigido a los Estados, pues son éstos los que deben hacerlo efectivo, la política de precaución obliga a potenciar el diálogo abierto a través de la opinión pública mediante el fomento de las técnicas de gobernanza, mediante la utilización de diversas técnicas de participación pública y medios de expresión de la voluntad ciudadana en un contexto de procesos nuevos de participación.

El principio de precaución va estrechamente unido al principio de seguridad que se ha desarrollado en el ámbito de la Unión Europea, llegando a ser uno de los principios rectores de sus políticas públicas; así, el Tratado de la Unión Europea de Maastrich, de 1992, se refiere a los tres pilares de la Unión Europea: la política exterior y de seguridad común y la cooperación policial y judicial en materia penal. El principio de precaución tendría acomodación en el segundo pilar, relativo a la política exterior y seguridad común (PESC), interés y que, posteriormente, se ha ido desarrollando a través de Directivas relativas a la seguridad en el consumo, en sentido amplio. En este contexto, precisamente a partir de la Resolución del Consejo Europeo sobre el principio cautela puede determinarse el contenido del principio de precaución, que se determina como sigue: *«la decisión de invocar o no el principio de precaución es una decisión que se ejerce cuando la información científica es insuficiente, poco concluyente, o incierta, cuando hay indicios (porque una evaluación científica preliminar lo hace sospechar) de que los posibles efectos sobre el medio ambiente y la salud humana, animal o vegetal pueden ser potencialmente peligrosos e incompatibles con el nivel de protección elegido»*⁹. En esta Resolución, admitiendo la relevancia del principio de precaución o cautela se pone de manifiesto, al mismo tiempo, que este principio puede utilizarse para adoptar medidas de restricción encubierta del comercio¹⁰. Así mismo, se pone en relación el principio de precaución con el principio de proporcionalidad y la exclusión de la arbitrariedad.

9. Véase la Resolución del Consejo Europa de 4 de diciembre de 2000, sobre el Principio de Cautela recogida en el Anexo final de este capítulo.

10. «Resolución del Consejo Europa, de 4 de diciembre de 2000, sobre el Principio de Cautela», Anexo III, en las Conclusiones de la Presidencia del Consejo Europeo de Niza de 7 al 10 de diciembre de 2000. Apartado G del Anexo III.

III. PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN EN UN ESTADO SOCIAL Y DEMOCRÁTICO DE DERECHO

La adopción de medidas que impidan la utilización de una determinada técnica, respecto de la que exista cierto grado de incertidumbre acerca de su idoneidad para afectar derechos fundamentales o a las generaciones futuras o el medio ambiente, pese a que ello suponga mejoras ya sea en la salud, ya sea en la productividad, responde –como se acaba de exponer– al llamado principio de precaución. El principio de precaución se presenta como un principio limitador¹¹ y no puede basarse exclusivamente en sentimientos subjetivos de miedo por parte de los ciudadanos. Esto es así porque el miedo ante el riesgo es selectivo¹² y los seres humanos visualizan unos peligros y riesgos más fácilmente que otros y, consecuentemente, se resguardan más de unos que de otros. Ello sin olvidar la importancia del miedo e inseguridad o, por el contrario, esperanzas, que pueden «crear» los medios de comunicación, con informaciones parciales, manipuladas o directamente falsas. Miedo o esperanza que no afecta sólo a los ciudadanos sino que condiciona las decisiones políticas de los estados. Buen ejemplo de ello lo constituyen los miedos y las esperanzas que suscita la nanotecnología cuando promete un mundo maravilloso, absolutamente distinto y mejor del que tenemos, lleno de posibilidades sin fin y, como si se tratase de la otra cara de Jano, se nos advierte sobre sus peligros en forma de «nube gris», de máquinas que se autorreplican¹³, que cambian las propiedades de la materia y la propia naturaleza humana.

En este contexto es importante la distinción entre peligro –*Hazard*– y riesgo –*Risk*–. Al respecto es necesario señalar que «riesgo» es un «peligro» que se puede y debe evaluar, en cuanto se puede y debe conocer y que, en consecuencia, se puede y debe controlar. Por ello, estaremos de acuerdo en que los factores que caracterizan la sociedad actual como «sociedad del riesgo»¹⁴ no se basan en la existencia de un mayor peligro objetivo, en cuanto esperanzas de vida y salud, sino en que han cambiado, esencialmente, dos circunstancias. Antes: 1º Los peligros que existían y existen, se preveían-conocían en abstracto pero no se podían prever-conocer, en concreto; 2º incluso

11. ESTEVE PARDO, J., «Ciencia y derecho ante los riesgos para la salud. Evaluación, decisión y gestión», *Documentación Administrativa*, 265-266, 2003, pp. 137 a 149.
12. Véase CASADO, M., BUXÓ, Mª J. (Coords.), *Riesgo y precaución*, Ed. Residència d'Investigadors CSIC-Generalitat de Catalunya, Barcelona, 2005.
13. En este sentido véase DREXLER, E., *Engines of creation*, The Coming Era of Nanotechnology, Anchor Books-Random House, 1986.
14. BECK, U., *La sociedad del riesgo/The Risk Society: hacia una nueva modernidad*, Ed. Paidós, 2006.

en la medida en que se conocían difícilmente se podían controlar. Hoy día: 1º Muchos de esos peligros se perciben como riesgos porque hay personas que los conocen, o los pueden conocer, con relativa exactitud, pero no todos los ciudadanos; 2º Hay peligros que esas determinadas personas pueden controlar pero no el ciudadano de a pie. Esos «peligros» que se pueden conocer y controlar son los que se puede exigir que sean controlados por quienes, en las concretas circunstancias, están obligados a ello y es, en el caso de que incumplan gravemente ese deber de controlar, cuando el Derecho, ya sea penal ya sea administrativo, está legitimado para intervenir. El principio de precaución tiene una especial importancia frente a peligros que no pueden calificarse como tales, en tanto en cuanto todavía ni tan siquiera los expertos conocen exactamente las consecuencias que puedan derivarse y, por consiguiente, no los pueden controlar.

Conviene tener en cuenta que la racionalidad que el derecho trata de introducir al ordenar las conductas en una sociedad democrática exige que las leyes no estén basadas en el miedo. Esta afirmación, a primera vista obvia, es importante cuando se trata de afrontar regulaciones sobre las biotecnologías, en general, y, más aún, particularmente, las nanotecnologías. Se trata de cuestiones que implican riesgos ante los cuales existe un grado de desconocimiento muy elevado por parte de la ciudadanía e, incluso, por parte de los expertos. Desconocimiento y miedo al riesgo son un cóctel especialmente peligroso que frecuentemente conduce a que la normativa responda a ese miedo con prohibiciones que a su vez generan riesgos y es sabido, como recuerda C. SUNSTEIN, que el pánico al riesgo desempeña un importante papel en los grupos e incluso las naciones¹⁵.

A la hora de regular la nanotecnología en un Estado de Derecho, con un gobierno democrático, se deben establecer pautas responsables que fijen acuerdos de forma que resuelvan los conflictos de manera pragmática y flexible –incompleta, en terminología de C. SUNSTEIN– sin necesidad de que para ello se pongan de acuerdo en una imposible concepción común del mundo¹⁶.

Se suele acudir en estos casos a invocar el tan mencionado «principio de precaución» que a veces se presenta como una panacea a la que cada vez se le dedica más atención, atribuyéndole un carácter novedoso del que carece

15. SUNSTEIN, C., *Leyes de miedo. Más allá del principio de precaución*, Katz eds., Madrid, 2009.

16. SUNSTEIN, C., *Legal reasoning and political conflicts*, NY Oxford University Press, 1996; NUSSBAUM, M., *Upheavals of thought*, NY, Cambridge University Press, 2002.

en el ámbito del razonamiento moral y jurídico¹⁷. *Riesgo v. seguridad* es un tema de preocupación y ocupación mundial en el que la precaución lleva a justificar, ante las incertidumbres, la adopción de medidas de anticipación que pretenden ser más precautorias pero que generan riesgos que hay que valorar pues pueden ser de igual o mayor entidad del que se desea evitar ¡sólo tenemos que pensar en las consecuencias de las guerras preventivas!

El balance riesgo-beneficio subyace a toda decisión normativa a la hora de regular si se permiten ciertas actividades o no y cuándo y cómo se responde ante las consecuencias no deseadas de la nanotecnología, por ejemplo. Analizar riesgos y beneficios para poder ponderarlos requiere tener en cuenta valores y costos —económicos o no—. La adopción de medidas precautorias ante un riesgo supone una elección que tiene que ver con qué riesgo se elige y cuál es el costo de esa elección. No hay que olvidar que cubrir uno deja otros fuera de la protección, pero a la vez de cada opción se generan cadenas de consecuencias que, cuando se refieren a cuestiones complejas —como son las que ahora se abordan—, tienen efectos multiplicadores muy relevantes. Juegan un papel importante conceptos complicados y arduos como el de probabilidad, de difícil comprensión ajustada. Desde siempre se ha valorado, en los seguros, el grado de gravedad del riesgo de forma combinada con la probabilidad de que acaezca, pero en las nuevas tecnologías, y muy en especial en las nanotecnologías, ambos elementos son enormemente difíciles de evaluar. Suele decirse que es una evaluación técnica pues son los expertos quienes conocen las claves para hacer las previsiones pero, en estos casos, los expertos tampoco pueden evaluar completamente tales riesgos, al menos por el momento. En todo caso, la mera evaluación del riesgo sí que constituye un criterio técnico mientras que, por el contrario, no ocurre lo mismo cuando se trata de la asignación de ese riesgo, que puede hacerse gravitar sobre unos u otros con mayor o menor intensidad; asumirlo o rechazarlo es una decisión político-jurídica y debe ajustarse a criterios democráticos y de justicia.

Es importante por ello insistir en que la opción por uno u otro camino tiene costos y que deben ser cuantificados antes de adoptar un genérico principio de precaución por el miedo de aquello que nos resulta más fácilmente comprensible o que los medios de comunicación más publicitan. Ejemplos como las dioxinas, los priones, los móviles, el asbesto, o los transgénicos son ilustrativos de lo que se quiere decir y aplicable a los riesgos de las nanotecnologías.

17. Cfr. BERBEROFF AYUDA, D., *El principio de precaución y su proyección en el Derecho administrativo español*, Consejo General del Poder Judicial, Madrid, 2005.

Al mismo tiempo si hablamos de Derecho y de Justicia no hay que olvidar la distinta situación con que se enfrentan al riesgo los diferentes grupos sociales y en países pobres o ricos. Es así hasta el punto de que se puede hablar de una nueva función del Derecho: repartir el riesgo con criterios de justicia de forma que no recaiga una vez más sobre los menos favorecidos¹⁸. Por ello, una democracia deliberativa debe contar con instituciones que sean capaces de adoptar políticas que no vayan a remolque de los miedos y alarmas de cada día, miedos que generan, en los grupos y en los medios, efectos cascada de pánico moral y polarización grupal ya conocidos y analizados¹⁹.

Es preciso tener en cuenta que, en un Estado de Derecho, los ciudadanos no son ni súbditos, ni meros consumidores y por ello deben poder dar su opinión antes de que se tomen decisiones normativas que les afectan. Ésta es la base deliberativa que se preconiza, es la apelación, también en bioética, al debate público informado como algo imprescindible para tomar decisiones democráticas en una sociedad plural. Este debate contribuye a la formación misma de los valores y permite establecer bases comunes, como se defiende incluso desde los textos internacionales de referencia.

Así, la decisión sobre las medidas a adoptar no puede dejarse tampoco, exclusivamente, en manos de los científicos puesto que, en general, desde su perspectiva, la posibilidad de un logro científico está por encima de cualquier riesgo que ello pueda generar. La investigación implica riesgos pero al mismo tiempo es necesaria para el avance de la sociedad. Siendo los beneficios de la investigación indiscutible, también lo son los riesgos que implica y, por consiguiente, debe ser conjuntamente, la comunidad científica, los gobiernos y la propia sociedad quienes establezcan los límites de aquélla²⁰. Así, por ejemplo, en el contexto de la Biotecnología, uno de los ámbitos en los que la investigación más avanza y que, al mismo tiempo, más miedos provoca, el Convenio sobre Derechos Humanos y Bioética –de 4 de abril de 1997 y en vigor en España desde 1 de enero de 2000– establece en su art. 28, que los Gobiernos firmantes deben de velar por que: «*las cuestiones fundamentales planteadas por el desarrollo de la biología y de la medicina sean debatidas públicamente y de manera adecuada, atendiendo en particular a las correspondientes aplicaciones médicas, sociales, económicas, éticas y jurídicas y porque sus posibles aplicaciones sean objeto de obligada consulta*». Que deben existir límites no obsta para advertir

18. DOUGLAS, M., *La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales*, Ed. Paidós, Barcelona, 1996.

19. JULIANO, M. D., «El pánico moral», *Estudios de derecho judicial*, núm. 131, 2007.

20. CORCOY BIDASOLO, M., «Límites y controles de la investigación genética. La protección penal de las manipulaciones genéticas», en *El Nuevo Derecho Penal Español. Estudios Penales en Memoria del Profesor José Manuel Valle Muñiz*, Ed. Aranzadi, Pamplona, 2001.

que la producción y creación científica constituye un derecho fundamental recogido en la Constitución, art. 20. 1. b), y que los poderes públicos, de acuerdo con el art. 44. 2. CE, deben promover la ciencia y la investigación científica y técnica en beneficio del interés general.

IV. FUNCIÓN DEL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN EN EL DESARROLLO DE LAS NANOTECNOLOGÍAS

Las aplicaciones nanotecnológicas, como las tecnologías genéticas, suscitan miedos y, a la vez, esperanzas ya que la revolución en las categorías conocidas, de materiales orgánicos e inorgánicos, por ejemplo, suponen un salto cuantitativo y cualitativo que nos sitúan ante una nueva revolución industrial. Desde un punto de vista bioético, conviene tener en cuenta que las nanotecnologías tiene especial relevancia en al ámbito de la biomedicina –que puede denominarse como nanomedicina– ya que busca desarrollar métodos terapéuticos totalmente personalizados y no invasivos²¹. Además de los progresos de la nanocirugía, se pueden mencionar las investigaciones encaminadas a crear laboratorios de análisis médicos de escala molecular, que pueden suministrar diagnósticos en tiempo real. Aunque la tecnología todavía dista mucho de poder construir nanomáquinas, la comunidad científica trata de desarrollar una auténtica «info-nano-biotecnología». Aquí se trata, entre otras cosas, de inspirarse en las células vivas para construir máquinas capaces de adaptarse dinámicamente a su entorno mediante su propia reprogramación. En líneas generales, las tecnologías futuras van a conferir a la materia características que normalmente se atribuyen a los sistemas complejos²².

Las posibilidades de intervenir en los procesos antes desarrollados sin control de los seres humanos, generan la sensación de omnipotencia y control y, además, llevan a borrar las tradicionales barreras entre naturaleza y arteificio, lo que acarrea incluso tener que replantear las nociones de naturaleza humana y de dignidad humana²³. No hay que olvidar que, además, se están produciendo cambios profundos e innovaciones a diversas escalas y en distintos planos, tales como los que se han introducido en los mecanismos económicos, sociales y políticos. Las nuevas tecnologías han ocasionado cambios profundos también en la información y la comunicación. Los distintos

21. Veánse, en esta misma obra, los capítulos a cargo de L. BUISAN, M. MAUTONE, I. LECUONA y F. LEYTON.

22. UNESCO, *Ética y Política de la Nanotecnología*, UNESCO, París, 2007.

23. Sobre el concepto de dignidad humana véase CASADO, M. (Coord.), *Sobre la dignidad y los principios: análisis de la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos UNESCO*, Ed. Civitas, Pamplona, 2009.

tipos de conocimiento, la investigación, la enseñanza y también las formas de trabajo e incluso el ocio, se han transformado de forma muy profunda y tal como se señala en el Informe Mundial sobre Desarrollo Humano, los progresos de la aplicación de las biotecnologías en los campos de la salud –o la agricultura, por ejemplo– abren nuevas perspectivas y, por otro lado, evidencian las terribles consecuencias de las desigualdades en la investigación y el acceso a la ciencia que deriva de las desigualdades económicas pero en la que inciden también factores institucionales²⁴. *«Existe una verdadera brecha científica que separa a los países “ricos en ciencias” de los demás. La vocación de la ciencia es universal, pero los adelantos científicos parecen ser la exclusiva de una parte del planeta»*²⁵.

La dependencia que existe entre el gasto en I+D+I y la producción de conocimiento y su divulgación, tienen relación directa con el PIB y éste es un indicador que puede dar una idea muy clara de las desigualdades que existen en este campo ya que representa el esfuerzo de investigación de cada país, pero no hay que olvidar que su capacidad para detraer más o menos porcentaje para una partida depende también del monto total y de las posibilidades de cubrir necesidades básicas primero. Baste comparar el porcentaje del Producto Interior Bruto que dedican a la investigación los países de la OCDE, y el que invierten los países en desarrollo; o también revisar estos mismos porcentajes tras la actual crisis con la disminución de las partidas que corresponden a la inversión pública y el correlativo aumento de las realizadas por las empresas. Todo esto es especialmente evidente en lo que se refiere a la biotecnología y, más aún, en el terreno que nos ocupa, el dominio de lo «infinitamente pequeño» que, como no podía ser menos, sigue las tendencias existentes en el desarrollo de las biotecnologías en general.

Como se ha reiterado, los riesgos propios de la que podríamos denominar sociedad compleja²⁶, surgen por los avances científicos y pueden encon-

24. Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en 2001.

25. INFORME MUNDIAL DE LA UNESCO, *Hacia las sociedades del conocimiento*, 2005, <http://www.unesco.org/publications>.

26. Tradicionalmente se ha venido utilizado la referencia a la sociedad del riesgo y sobre ello se ha criticado que en la actualidad las probabilidad de vida es mucho mayor y, por consiguiente, que ese denominado riesgo es subjetivo puesto que objetivamente los riesgos son inferiores a los que habían existido con anterioridad. Pudiendo aceptar en parte estas consideraciones, lo que no es discutible es que la sociedad actual es más compleja y que los avances tecnológicos con todos los beneficios que conllevan crean riesgos desconocidos previamente y que el ciudadano de a pie no puede controlar ni conocer. Por ello, las administraciones tiene el deber de controlarlos en base a normativas que obligan a quiénes tienen unos conocimientos superiores a mantenerlos en el nivel del riesgo permitido o tolerable. Por consi-

trar uno de sus límites en el llamado principio de precaución. Las posibilidades de aplicación de este principio no han sido aún suficientemente ponderadas ya que se menciona en diferentes resoluciones y normativas pero no es utilizado como instrumento de toma de decisiones, de índole social, política, económica o medioambiental... Atendiendo al principio de precaución se podría potenciar el diálogo, a través de la opinión pública, en un contexto de procesos nuevos de participación y de expresión de la voluntad de los ciudadanos. La cooperación científica internacional debería guiarse en adelante por los cuatro principios fundamentales siguientes:

1. Las técnicas y los materiales deben estar normalizados al máximo para que los resultados se puedan comparar y reproducir con exactitud. Un «colaboratorio»²⁷ es un sistema descentralizado que sólo puede funcionar si

guiente, lo que no es discutible es que es una sociedad compleja en la que los ciudadanos no están en igualdad de condiciones de acceso al conocimiento ni al control de los nuevos riesgos.

27. Buxó, M. J., «La conjunció aplicada dels “co”: comitès, col.laboracions, col·legues, co-operacions, co-generació i co-gestió de dades i problemes», *Revista d'Etnologia de Catalunya*, núm. 2, 2002, pp. 130 a 140.

Asimismo véase <http://www.unesco.org/science/>

«Para concretar el proyecto de laboratorio virtual, la UNESCO pone a disposición de los investigadores de los países en desarrollo un instrumento que comprende una serie de instrucciones y programas informáticos de fuente libre (<http://virtuallab.tu-freiberg.de/>). El laboratorio virtual no está destinado a sustituir las estructuras tradicionales, sino más bien a prolongarlas y reinventarlas. El ejemplo de las redes de los Centros de Recursos Microbiológicos (MIRCEN), que son fruto de la colaboración internacional, ilustra perfectamente la necesidad de una convergencia entre los proyectos de cooperación y los instrumentos virtuales.

Los centros MIRCEN son universidades o institutos de investigación de los países industrializados y países en desarrollo que, en colaboración con los gobiernos y las Comisiones Nacionales para la UNESCO de los países interesados, han creado una red de cooperación científica internacional para poner la microbiología y las aplicaciones biotecnológicas al servicio de la humanidad. Desde 1975, en asociación con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), se han creado 34 centros MIRCEN en el mundo entero. La red mundial de actividades de investigación y formación MIRCEN tiene por objeto proporcionar una infraestructura mundial en la que están integrados laboratorios que cooperan a nivel nacional, regional e internacional en la gestión, distribución y utilización de los recursos genéticos microbianos comunes. Asimismo, la red tiene por objeto utilizar los recursos genéticos de los rizomas en los países agrícolas en desarrollo, propiciar el desarrollo de las nuevas tecnologías poco onerosas que se utilizan en regiones específicas, promover las aplicaciones económicas y ecológicas de la microbiología, y contribuir a la formación de mano de obra especializada.

En previsión de las futuras necesidades del desarrollo en el ámbito de la colaboración científica internacional, la UNESCO acaba de iniciar el Programa Internacional de Ciencias Fundamentales (PICF). El objetivo primordial de este programa es crear capacidades nacionales en lo que respecta a la investigación fundamental, la forma-

las instituciones que lo integran trabajan en armonía (noción de interoperabilidad).

2. Los trabajos de investigación deben ser complementarios. La división del trabajo entre los laboratorios permite evitar las duplicaciones de tareas.

3. Se debe recurrir a las tecnologías que permitan trabajar con mayor eficacia y rapidez.

4. Para que un programa de investigación sirva al bien común, se ha de llegar a un equilibrio entre la difusión, validación y revisión de los datos, y la determinación y protección de la propiedad intelectual²⁸.

V. RIESGO PERMITIDO Y PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN

Una cuestión también necesitada de debate es cómo se limitan los riesgos que puedan derivarse de las nanotecnologías. Es decir, qué mecanismos son los más adecuados para el control de estos riesgos y cuáles pueden ser las sanciones que se arbitren para el incumplimiento de las medidas de precaución adoptadas por los Gobiernos. La creación o el no-control de un riesgo no permitido puede conllevar diversas consecuencias jurídicas. En el ámbito del Derecho civil es válido el principio de precaución y, por consiguiente, es posible exigir responsabilidad por daños derivados de un riesgo que cuando se creó era desconocido o al menos se desconocían sus efectos negativos. No obstante, esta posibilidad es limitada y sólo puede exigirse cuando en la ponderación de intereses los riesgos sean muy elevados. Por ello, la Ley 22/1994, 6 julio, de Responsabilidad civil por los daños causados por productos defectuosos²⁹, en su art. 6.1.e) exonera de responsabilidad al productor cuando por *«el estado de los conocimientos científicos y técnicos existentes en el momento de la puesta en circulación no permitía apreciar la existencia del defecto»*. No obstante, establece una excepción a este principio en el art. 6.3,

ción y la enseñanza científica.

El programa se centrará sobre todo en la transferencia y aprovechamiento compartido de información científica y conocimientos científicos de excelencia mediante la cooperación Norte-Sur y Sur-Sur».

28. Estos cuatro principios se han extraído del artículo «Stem cell research must go global» de Roger PEDERSEN, que se publicó en el Financial Times del 16 de marzo de 2003. En un contexto en que la investigación está cada vez más estrechamente vinculada a las inversiones económicas, es significativo que en una publicación de índole financiera se presenten principios de colaboración científica.

29. Esta Ley tiene por objeto la adaptación del Derecho español a la Directiva 85/374/CEE, 25 julio (LCEur 1985, 712).

responsabilizando al productor, en el caso de productos alimenticios y medicamentos destinados al consumo humano, aun cuando en el momento en que se introdujo en el mercado se desconociese su nocividad. Estos supuestos en ningún caso pueden dar lugar a responsabilidad penal, puesto que esta previsión es contraria al principio de responsabilidad subjetiva, es decir, a la exigencia de dolo o imprudencia³⁰. Ello es así porque frente a un riesgo desconocido ni, por supuesto, puede concurrir dolo ni tampoco imprudencia ya que ésta requiere que el sujeto tuviera el deber de prever ese riesgo.

Un riesgo desconocido del que puede derivarse responsabilidad civil si se producen daños, también puede dar lugar a la imposición de una sanción administrativa, aunque no se hayan producido lesiones en base al incumplimiento de la normativa vigente. El principio de precaución como límite al desarrollo de determinadas actividades es válido en el ámbito del Derecho civil y administrativo y, en consecuencia, el incumplimiento de las medidas establecidas para limitar una actividad en base al principio de precaución puede conllevar sanciones administrativas y/o dar lugar a responsabilidad civil por los efectos nocivos que de ello se hayan derivado. No obstante, el incumplimiento de la prohibición de una actividad, en base al principio de precaución, no puede determinar la intervención del Derecho penal, puesto que con ello se incumplen principios tan esenciales como los relativos a la presunción de inocencia y el *in dubio pro reo*, así como los referentes al principio de responsabilidad subjetiva. El principio de precaución es exactamente el principio contrario al *in dubio pro reo* puesto que supone la obligación de intervenir en caso de duda sobre la peligrosidad, mientras que el *in dubio pro reo* supone que en caso de duda sobre la nocividad hay que absolver, es decir, no intervenir. Al respecto es clave la STJCE 5 mayo 1998, Reino Unido *versus* Comisión, en la que, en el caso de las vacas locas, se afirma «*Cuando subsista una incertidumbre respecto de la existencia y la importancia de los riesgos para la salud de las personas, las instituciones pueden adoptar medidas de protección sin tener que esperar que la realidad y la gravedad de los riesgos estén plenamente demostrados*».

En el ámbito del Derecho del Trabajo, tanto por parte de la Unión Europea como por parte de muchos países miembros, en concreto, en la problemática relacionada con la prevención de riesgos laborales el principio de precaución ha sido uno de los criterios utilizados, al menos teóricamente,

30. En la conocida sentencia de la sangre contaminada por el VIH, del Hospital de Bellvitge, STS 18 noviembre 1991, una de las cuestiones que se debatían era el conocimiento que en ese momento se tenía respecto de los riesgos derivados de la transfusión de sangre, sin haber analizado la sangre para probar si era portadora del VIH.

en las profusas regulaciones que se han ido desarrollando al respecto³¹. En este sentido, no olvidemos que uno de los ámbitos en los que la aplicación de las nanotecnologías ha suscitado debate es respecto de los riesgos a los que están sometidas las personas que trabajan en su aplicación³².

La existencia de riesgos potenciales, como sucede en el caso de las nanotecnologías, determina que deban adoptarse medidas de control para garantizar que no se superan los «límites tolerables» de riesgos. Al respecto encontramos jurisprudencia reciente que plantea el principio de precaución en ámbitos que presentan ciertas similitudes con la problemática que origina la aplicación de la nanotecnología. En estos supuestos el principio de precaución opera como criterio interpretativo en orden a delimitar cuándo es legítima la normativa administrativa que prohíbe un determinado medicamento³³, que establece una serie de controles para instalar antenas de telefonía móvil³⁴ o que limita la instalación de líneas de alta tensión³⁵. En la

31. Cfr. MORENO MARCOS, M., «El principio de precaución y la democratización del riesgo: posibles aplicaciones en el derecho laboral en torno a la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a sustancias carcinógenas o mutágenas», *Revista de Derecho Social* (BOMARZO), 36/2007.

32. Véase NAROCKI, C., «Las partículas nanométricas y la salud laboral», en RIECHMANN, J. (Coord.), *Nanomundos, multiconflictos, Una aproximación a las nanotecnologías*, Ed. Icaria, 2009, p. 33 a 54.

33. Cfr. STS (Sala 3ª) 18 marzo 2009 (Ponente: José Manuel Bandrés Sánchez-Cruzat), en relación con los riesgos que puedan derivarse de la comercialización de un medicamento que por su denominación puede confundirse con otro.

34. Respecto del requisito de obtener una licencia de actividad para poder instalar una antena de telefonía móvil los Tribunales Superiores de Justicia de diferentes Comunidades Autónomas lo han fundamentado en el principio de precaución, en base a su consideración de actividad, «molesta insalubre o peligrosa». En este sentido, inicia esta jurisprudencia, la STSJ Comunitat Valenciana 441/2003 (Sala de lo Contencioso-Administrativo) 17 marzo 2003 (Ponente: Fernando Nieto Martín), es la primera que acude al principio de precaución como criterio que permite limitar y regular la instalación de antenas de telefonía móvil, acudiendo a los límites legales y reglamentarios que en la Comunidad Europeo y en España se establecen para limitar la exposición a radiaciones de los ciudadanos. Siguen esta misma línea, entre otras muchas, STSJ Comunitat Valenciana 275/2008 (Sala de lo Contencioso-administrativo), de 9 de marzo (Ponente: Miguel Ángel Olarte Madero); STSJ Andalucía Granada 348/2008 (Sala de lo Contencioso-administrativo), de 17 de marzo (Ponente: Juan Manuel Cívico García).

35. En este sentido, STS (Sala 3ª) 23 febrero 2010 (Ponente: José Manuel Bandrés Sánchez-Cruzat), resuelve un recurso contencioso administrativo presentado por el Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Industriales, contra el Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero en el que se aprueba el Reglamento «sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09», por entender que las medidas de seguridad y control establecidas en algunos de sus artículos no están justificadas. En esta resolución el principio de precaución es uno de los criterios utilizados para

regulación de estas materias se parte de unos estándares europeos que establecen límites respecto de determinadas actividades que, siendo útiles, presentan una potencialidad de riesgo no demostrada científicamente ni en positivo ni en negativo. Es decir, no se puede afirmar que sean peligrosas, sobre todo en qué medida y con qué consecuencias, pero la ciencia tampoco puede probar que sean inocuas³⁶. En estos casos la normativa administrativa persigue fijar unos niveles de seguridad que pueden ser definidos como un compromiso entre lo científicamente demostrable y el margen de cautela.

VI. PROBLEMAS SOCIOLÓGICOS EN LA APLICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA. PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN Y PRINCIPIO DE PROPORCIONALIDAD

La problemática social que suscita el desarrollo de nuevas técnicas, como son las biotecnologías, muy en particular las relacionadas con las modificaciones genéticas³⁷, y, en este caso, la nanotecnología, debe de tomarse en consideración por las administraciones a la hora de establecer los controles y requisitos para su aplicación efectiva. Ello requiere en un primer momento de información y, en su segundo, de establecer una valoración coste-beneficio y, en esa valoración, el principio de precaución debe jugar un papel preponderante, junto al de proporcionalidad. Desde una perspectiva jurídica no pueden limitarse los avances científicos exclusivamente en base a una mera alarma social que fácilmente se genera cuando esa situación está basada en

justificar las limitaciones a la actuación de los particulares, por parte de la Administración, cuando exista un riesgo potencial para los ciudadanos: *«Por ello, apreciamos que el ejercicio de la potestad normativa que se proyecta en la normación reglamentaria enjuiciada en este recurso contencioso-administrativo, no constituye manifestación de desviación de poder, en cuanto que la ordenación clasificadora de las líneas de alta tensión y la imputación de las funciones de inspección que corresponden a los Organismos de Control, derivadas de la categorización de las líneas, viene determinada por el interés público, salvaguardado por el principio de legalidad, y amparada en el principio de precaución o de cautela, debido al riesgo potencial para las personas y bienes que incide en el desarrollo de la actividad, de control de las condiciones técnicas de las líneas eléctricas, debiendo significar que no se han aducido argumentos convincentes para formar en el Tribunal la convicción de que el Gobierno ha actuado arbitrariamente, porque, aunque acomodó la reglamentación a la legalidad, lo hizo con finalidad distinta a la pretendida, obstaculizando indebida e ilegítimamente las facultades profesionales de un determinado colectivo de Ingenieros».*

36. En este sentido véase, por ejemplo, «Scientific Opinion on the Scientific Committee on a request from the European Commission on the Potential Risks Arising from Nanotechnologies on Food and Feed Safety», *The EFSA Journal*, núm. 958, 2009, p. 1 a 39.
37. Cfr. AMAT LLOMBART, P., *Derecho de la biotecnología y los transgénicos (especial referencia al sector agrario y alimentario)*, Ed. Tirant lo Blanch, Valencia, 2008.

la concurrencia de riesgo para la salud o la vida de las personas o para el medio ambiente.

En este contexto la información es esencial y la utilización de datos falsos o al menos no contrastados por parte de grupos de presión para «alertar» a la opinión pública debe ser denunciada. En consecuencia, un deber de las instituciones es informar correctamente a los ciudadanos no dando por constatados datos carentes de fundamento. Asimismo, constituye una necesidad ineludible asignar fondos y apoyar las investigaciones que contribuyan a determinar qué riesgos son reales y cuál es la forma de evitarlos o minimizarlos. El principio de precaución, en cuanto toma en consideración la existencia de un riesgo basado no en datos ciertos sino en conjeturas o peligros presuntos, no puede ser alegado indiscriminadamente. Por ello es esencial la puesta en relación entre el principio de precaución y el principio de proporcionalidad. Principio de proporcionalidad a partir del cual deben valorarse los perjuicios que pueden derivarse de las limitaciones establecidas en base al principio de precaución. Perjuicios que no son únicamente los presuntos riesgos que se pretende evitar sino muy especialmente los beneficios que se impide alcanzar. Todos los avances llevan implícitos riesgos pero la seguridad como lema lleva a la paralización de los avances científicos y tecnológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA EUROPEA DEL MEDIO AMBIENTE, *Alertas tempranas, lecciones tardías*, 2002, <http://www.eea.europa.eu/>.
- AMAT LLOMBART, P., *Derecho de la biotecnología y los transgénicos (especial referencia al sector agrario y alimentario)*, Ed. Tirant lo Blanch, Valencia, 2008.
- BECK, U., *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad*, Ed. Paidós, Barcelona, 2006.
- BERBEROFF AYUDA, D., *El principio de precaución y su proyección en el Derecho administrativo español*, Consejo General del Poder Judicial, Madrid, 2005.
- BUXÓ, M. J., «La conjunció aplicada dels “co”: comitès, col.laboracions, col.legues, co-operacions, co-generació i co-gestió de dades i problemes», *Revista d'Etnologia de Catalunya*, núm. 2, 2002.
- CASADO, M. (Coord.), *Sobre la dignidad y los principios: análisis de la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos UNESCO*, Ed. Civitas, Pamplona, 2009.
- CASADO, M. y BUXÓ, M^a J. (Coords.), *Riesgo y Precaución*, Ed. Residència d'Investigadors CSIC-Generalitat de Catalunya, Barcelona, 2005.

— 8. *Principios de precaución y gestión del riesgo en el contexto de la nanotecnología*

COMEST, *World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology*.

— *Nanotechnologies and Ethics, Policies and Actions, COMEST policy Recommendations*, UNESCO, Paris, 2007.

— *The precautionary principle*, UNESCO, Paris, 2005.

— *Comunicación de la Comisión sobre el recurso al principio de precaución 2000, COM (2000) 1 final*, de 2 de febrero de 2000.

CORCOY BIDASOLO, M., «Límites y controles de la investigación genética. La protección penal de las manipulaciones genéticas», en *El Nuevo Derecho Penal Español. Estudios Penales en Memoria del Profesor José Manuel Valle Muñiz*, Ed. Aranzadi, Pamplona, 2001.

DREXLER, E., *Engines of creation, The Coming Era of Nanotechnology*, Anchor Books-Random House, 1986.

DOUGLAS, M., *La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales*, Ed. Paidós, Barcelona, 1996.

ESTEVE PARDO, J., «Ciencia y derecho ante los riesgos para la salud. Evaluación, decisión y gestión», *Documentación Administrativa*, 265-266, 2003.

JULIANO, M. D., «El pánico moral», *Estudios de derecho judicial*, núm. 131, 2007.

MORENO MARCOS, M., «El principio de precaución y la democratización del riesgo: posibles aplicaciones en el derecho laboral en torno a la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a sustancias carcinógenas o mutágenas», *Revista de Derecho Social (BOMARZO)* 36/2007.

NAROCKI, C., «Las partículas nanométricas y la salud laboral», en RIECHMANN, J. (Coord.), *Nanomundos, multiconflictos, Una aproximación a las nanotecnologías*, Ed. Icaria, Barcelona, 2009.

NUSSBAUM, M., *Upheavals of thought*, Cambridge University Press, NY, 2002.

RIECHMANN, J. (Coord.), *Nanomundos, multiconflictos. Una aproximación a las nanotecnologías*, Icaria, Barcelona, 2009.

RIECHMANN, J. y TICKNER, J., *El principio de precaución en el medio ambiente y la salud pública: de las definiciones a la práctica*, Ed. Icaria, Barcelona, 2002.

— «Scientific Opinion of the Scientific Committee on a request from the European Commission on the Potential Risks Arising, from Nanoscience and Nanotechnologies on Food and Feed Safety», *The EFSA Journal* 958, 2009.

SUNSTEIN, C., *Leyes de miedo. Más allá del principio de precaución*, Katz eds., Madrid, 2009.

— *Legal reasoning and political conflicts*, NY Oxford University Press, 1996.

UNESCO, *Ética y Política de la Nanotecnología*, UNESCO, París, 2007.

INFORME MUNDIAL DE LA UNESCO, *Hacia las sociedades del conocimiento*, 2005, <http://www.unesco.org/publications>.

ANEXO

«Resolución del Consejo Europeo de 4 de diciembre de 2000, sobre el Principio de Cautela», Anexo III, en las Conclusiones de la Presidencia del Consejo Europeo de Niza de 7 al 10 de diciembre de 2000.

(En particular para la concreción sobre lo que se entiende por principio de precaución es relevante el apartado K y las 25 declaraciones subsiguientes)

«K. consciente de que las autoridades públicas tienen la responsabilidad de garantizar un alto nivel de protección de la salud y del medio ambiente y deben atender a las preocupaciones crecientes del público con respecto a los riesgos a que podría estar expuesto;

1. se felicita de la iniciativa de la Comisión de presentar una comunicación sobre el recurso al principio de cautela, cuya orientación general comparte;

2. estima que el principio de cautela se aplica a las políticas y acciones de la Comunidad y de sus Estados miembros y atañe a la actuación de las autoridades públicas, tanto en las instituciones comunitarias como en los Estados miembros; que estas autoridades públicas deben esforzarse por que sea plenamente reconocido en los foros internacionales pertinentes;

3. constata que el principio de cautela se afirma progresivamente como principio de derecho internacional en los ámbitos de la protección de la salud y del medio ambiente;

4. considera que las normas de la OMC permiten *a priori* tener en cuenta el principio de cautela;

5. considera que, según el derecho internacional, la Comunidad y los Estados miembros tienen derecho a establecer el nivel de protección que estimen apropiado en el marco de la gestión del riesgo; que, para alcanzar este objetivo, pueden adoptar medidas adecuadas en virtud del principio de cautela; y que no siempre es posible definir por adelantado el nivel de protección que resulte adecuado para todas las situaciones;

6. estima necesario definir las directrices que deben regir el recurso al principio de cautela para aclarar sus modalidades de aplicación;

7. considera que se debe recurrir al principio de cautela cuando se determine la posibilidad de efectos nocivos para la salud o el medio ambiente

y una evaluación científica preliminar, a tenor de los datos disponibles, no permita establecer con certeza el nivel de riesgo;

8. considera que la evaluación científica del riesgo debe seguir un proceso lógico, esforzándose por identificar el peligro, caracterizar el peligro, evaluar la exposición y caracterizar el riesgo, remitiéndose a los procedimientos vigentes reconocidos a nivel comunitario e internacional; considera que, debido a la insuficiencia de los datos y a la naturaleza del peligro o al carácter urgente de éste, a veces no es posible llevar a término esas etapas de forma sistemática;

9. considera que, para proceder a la evaluación de los riesgos, la autoridad pública debe dotarse de un marco de investigación adecuado, apoyándose de manera especial en comités científicos y en los trabajos científicos pertinentes realizados a nivel nacional e internacional; que dicha autoridad será responsable de organizar la evaluación del riesgo, que debe desarrollarse de manera pluridisciplinar, contradictoria, independiente y transparente;

10. estima que la evaluación del riesgo también debe poner de relieve los posibles dictámenes minoritarios, los cuales deben poder expresarse y comunicarse a los interesados, sobre todo si ponen de manifiesto la falta de certeza científica;

11. afirma que debe establecerse una separación funcional entre los responsables encargados de la evaluación científica del riesgo y los encargados de la gestión del riesgo, si bien reconoce la necesidad de que ambas partes entablen entre sí un diálogo constante;

12. considera que las autoridades públicas responsables deben adoptar las medidas de gestión del riesgo a tenor de una apreciación política del grado de protección deseado;

13. considera que, a la hora de elegir las medidas que deban adoptarse para gestionar el riesgo, deberá contemplarse todo el abanico de medidas que permitan alcanzar el nivel de protección deseado;

14. estima que todas las etapas deberán llevarse a cabo de forma transparente, especialmente las de la evaluación y la gestión del riesgo, incluido el seguimiento de las medidas adoptadas;

15. estima que deberá asociarse a la sociedad civil y ponerse especial cuidado en consultar a todas las partes interesadas en una fase lo más temprana posible;

16. estima que deberá establecerse una comunicación adecuada a propósito de los dictámenes científicos y de las medidas de gestión del riesgo;

17. considera que las medidas adoptadas deberán respetar el principio de proporcionalidad, teniendo en cuenta los riesgos a corto y largo plazo y encaminándose a alcanzar el alto nivel de protección deseado;

18. considera que las medidas no deben dar lugar a discriminaciones arbitrarias o injustificadas en su aplicación; cuando existan varias posibilidades de alcanzar el mismo nivel de protección de la salud o del medio ambiente, deberá tratarse de adoptar las medidas menos restrictivas para el comercio;

19. considera que las medidas deberían ser coherentes con las que ya se adoptaron en situaciones similares o que utilicen enfoques similares, teniendo en cuenta la más reciente evolución científica y la evolución del nivel de protección deseado;

20. insiste en que las medidas que se adopten presuponen el estudio de las ventajas y de las cargas derivadas de la acción o de la falta de acción. Dicho estudio tendrá en cuenta los costes sociales y medioambientales, así como la aceptación que puedan suscitar entre la población las distintas opciones posibles, e incluirá, cuando sea factible, un análisis económico, entendiéndose que deberá concederse un carácter prioritario a las exigencias vinculadas a la protección de la salud pública, incluidos los efectos que en ella tiene el medio ambiente;

21. estima que las decisiones que se adopten en virtud del principio de cautela deben volver a estudiarse en función de la evolución de los conocimientos científicos. Para ello, deberá garantizarse el seguimiento de estas decisiones y deberán llevarse a cabo indagaciones complementarias para reducir el nivel de incertidumbre;

22. estima que, al definir las medidas que vayan a adoptarse en virtud del principio de cautela y en el marco de su seguimiento, la autoridad competente debe tener la posibilidad de determinar, caso por caso, con arreglo a normas claras definidas en el nivel adecuado, a quién corresponde facilitar los datos científicos necesarios con vistas a una evaluación más completa del riesgo; Dicha obligación puede variar según los casos y debe procurar establecer un equilibrio satisfactorio entre los poderes públicos, los organismos científicos y los agentes económicos, teniendo en cuenta, en particular, las obligaciones que recaen sobre estos últimos por sus actividades;

23. se compromete a poner en práctica los principios que figuran en la presente Resolución;

24. invita a la Comisión a que:

- aplique de forma sistemática sus directrices sobre las condiciones para recurrir al principio de cautela, teniendo en cuenta las características específicas de los distintos sectores en que aquéllas puedan llevarse a la práctica;
- integre el principio de cautela, siempre que sea necesario, en la elaboración de sus propuestas legislativas y en el conjunto de sus acciones;

25. invita a los Estados miembros y a la Comisión a que:

- confieran especial importancia al desarrollo del conocimiento científico y a la necesaria coordinación institucional;
- procuren que se reconozca plenamente el principio de cautela en los foros internacionales pertinentes en materia de salud, medio ambiente y comercio internacional, en particular con arreglo a los principios propuestos por la presente Resolución, fomenten este objetivo y garanticen que se tenga más en cuenta, en particular ante la OMC, al tiempo que contribuyen a su clarificación;
- garanticen la mayor información posible al público y a los distintos interesados sobre el estado de los conocimientos científicos, los desafíos y los riesgos que les afectan a ellos y a su medio ambiente;
- trabajen activamente para lograr que los interlocutores internacionales se comprometan a hallar un terreno de entendimiento para la aplicación del principio;
- garanticen la difusión más amplia posible de la presente Resolución.

Nanotec: Megaganancias y gigarriesgos

MANUEL GARÍ RAMOS

SUMARIO.—I. NATURALEZA MATERIAL DE LAS NANO.—II. LA CADENA DE VALOR DE LAS NANO.—III. LA CIENCIA COMO NEGOCIO, EL ESTADO COMO GARANTE.—IV. LA DIMENSIÓN ECONÓMICA DEL FENÓMENO NANO.—V. TEMERIDAD Y RIESGOS.—VI. RIESGOS Y PRECAUCIONES.—VII. UNA CUESTIÓN DEMOCRÁTICA CENTRAL.

Estamos a las puertas de una nueva revolución industrial de la mano de la nanotecnociencia cuyas consecuencias son imposibles de prever con detalle. Pero ya intuimos que sus efectos serán, muy probablemente, de mayor alcance que el de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) que dieron pie al concepto de Nueva Economía en la década de los noventa.

Es cierto como señalan Hope SHAND y Kathy Jo WETTER (2006)¹ que «... cada diez años más o menos se nos bombardea con noticias sobre las maravillas de una nueva tecnología que promete ser la solución definitiva a todos los males de la sociedad (...) La nanotecnología (...) es el último de estos milagros tecnológicos, y sus promotores prometen la revolución industrial más importante y más verde de la historia». Pero aunque no sea verde ni aporte soluciones mágicas a los problemas de la humanidad, la nanotecnociencia puede suponer un cambio radical en las condiciones materiales del modelo productivo, cambio no exento de problemas e interrogantes.

Frente al optimismo tecnológico del científicismo positivista hegemónico en el mundo científico y en las sociedades industrializadas, que mantiene una actitud acrítica y desprevenida respecto a los efectos sociales y ambientales de la tecnología, a la que atribuye una capacidad de solventar problemas que se ha demostrado falsa a la luz de la experiencia, es necesario

-
1. SHAND, Hope y WETTER, Kathy Jo, «La ciencia en miniatura: una introducción a la nanotecnología», en *Worldwatch Institute: La situación del mundo 2006*, Icaria, Barcelona 2006, p. 163.

realizar un análisis crítico, objetivo, independiente, holístico y prudente ante cada cuestión².

El escaso debate público desarrollado hasta el momento sobre las nanotecnologías se ha centrado en cuatro aspectos: a) su potencialidad, entre otros, en campos como el almacenamiento de energía, las aplicaciones médicas y las IT; b) el desconocimiento de los eventuales riesgos que pueden comportar para quienes trabajan con nanomateriales o para los usuarios de los productos que los contienen; c) la inexistencia de un marco regulador sobre la investigación, desarrollo, aplicación y liberación ambiental de los nanomateriales; y d) las importantes ganancias económicas anticipadas que ya se están generando para los inversores y el monto de los futuros beneficios de una heterogénea gama de aplicaciones posibles.

Pese a la opacidad de la industria y la escasa información pública, podemos concluir que la nanotecnociencia supone en 2010 un nuevo desafío social, ético y político de gran envergadura, un nuevo nicho de negocio y un posible cambio en el paradigma científico³.

I. NATURALEZA MATERIAL DE LAS NANO

Un buen punto de partida para abordar desde una óptica económico-social el fenómeno de las *nano* sin inmiscuirme en el campo científico-técnico que abordan expertos en la materia en esta misma obra, es la definición realizada en el informe de la Royal Society and Royal Academy of Engineering⁴ que entiende por nanotecnologías el campo comprendido por «... *el diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, mecanismos y sistemas controlando la forma y tamaño en una escala nanométrica*».

Para Ana CREMADES (2008)⁵, la nanotecnología no es una mera continuación de la microtecnología, ya que al reducir el tamaño, se modifican o aparecen nuevas propiedades físicas propias de la nanoescala: surgen efectos

2. Para un mejor conocimiento de estas cuestiones puede consultarse PORRIT, J. (2003), *Actuar con prudencia: ciencia y medio ambiente*, Blume, Barcelona.
3. La envergadura de los problemas éticos en relación con la ciencia y la técnica es grande, puede consultarse: ENGELHARDT, H. T., *Los fundamentos de la bioética*, Paidós, Barcelona, 1995. En el caso de las *nano* puede consultarse UNESCO, *The ethics and politics of nanotechnology*, Paris, 2006.
4. ROYAL SOCIETY AND ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2004, *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*, London, www.nanotec.org.uk/finalReport.htm.
5. CREMADES, Ana (2008), «Introducción a la nanociencia y las nanotecnologías», en el curso *Nanotecnologías: sociedad, salud y medio ambiente*, Facultad de CC. Químicas de la UCM, 3 al 5 de marzo de 2008, www.istas.ccoo.es.

cuánticos, la termodinámica se altera, la reactividad química se modifica y la superficie gana importancia cuanto más pequeño se hace el material⁶. En este punto surge el primer y más grave problema del mundo nano para DEHMER⁷ que afirma que la investigación en curso consiste fundamentalmente en «*tomar diferentes tipos de nanoestructuras en las que la naturaleza no ha pensado, ponerlas juntas en diversas formas, de modo que podamos hacer cosas que la naturaleza no ha hecho, y, en particular que sean más robustas que los sistemas naturales*». Nos enfrentamos, por tanto, a una realidad no sólo desconocida cognitivamente por novedosa sino inexistente hasta ahora en la biosfera, lo que plantea consecuencias inéditas e interrogantes insoslayables.

Antes de indagar sobre los riesgos de la nanoproducción se ha pasado del ámbito de la investigación científica al de sus aplicaciones industriales y en ello radica el segundo gran problema. Las *nano* salieron del laboratorio y entraron de lleno en el mundo de la producción social y por tanto en la esfera de las relaciones sociales y en el medio natural. Tal como señala José Manuel DE CÓZAR (2003)⁸, la separación entre una ciencia pura que sólo persigue un mejor conocimiento de lo inmensamente pequeño y lo que serían sus aplicaciones tecnológicas no es ni mucho menos tan nítida. Para este autor la nanotecnociencia es la expresión que sintetiza la investigación y desarrollo a escala nanométrica, independientemente de que sea conducida por científicos, ingenieros o tecnólogos ya que «... *de hecho, desde el punto de vista de la política científica y del beneficio empresarial, la investigación científica –la nanotecnología no es una excepción– se encuentra claramente orientada a la consecución de conocimientos, habilidades y procedimientos que redunden en productos de valor estratégico bien comercial, bien para la seguridad del Estado: vigilancia, control, espionaje, “defensa”...*». Por lo que no puede hablarse de ciencia y tecnología al margen del negocio y el poder.

Hasta aquí lo que es común al mundo nano, pero, la nanotecnología abarca una amplia gama de conocimientos, materiales, tecnologías y herramientas, por lo que es más adecuado hablar en plural y usar el término nanotecnologías para abordar tan heterogénea realidad.

6. CREMADES, Ana (2008), «Una nueva ciencia», en *Daphnia*, núm. 46, Verano 2008.

7. La doctora DEHMER es miembro de la Office of Basic Sciences del Departamento de Energía de EE UU (US Senate, Roundtable on Health Technology, 23 de septiembre de 2003) y el texto es citado por Jorge Riechmann en «Nanomundos, multiconflictos», en *Daphnia*, núm. 46, Verano 2008, Madrid.

8. DE CÓZAR, José Manuel, «Nanotecnologías: promesas dudosas y control social», en *Revista de la OEI*, núm. 6, mayo-agosto de 2003.

II. LA CADENA DE VALOR DE LAS NANO

No constituyen un sector industrial como lo pueda ser el de la electrónica o el de las telecomunicaciones, sino todo un abanico de técnicas para manipular la materia a escala nanométrica. Sin embargo, desde el punto de vista del mercado las nanotecnologías tienen un tratamiento general único que no diferencia entre las muy diversas áreas del conocimiento que confluyen en el fenómeno. Sin embargo para avanzar en la comprensión de las ventajas, oportunidades, riesgos y peligros de las *nanotec* convendría comenzar a realizar análisis y evaluaciones sectoriales diferenciadas según los procesos y las aplicaciones.

Dado que en la escala nano la constitución de la materia es común a todas las ciencias (física, química, biología, etc.) se produce una convergencia tecnológica «nano-bio-info-cogno-neuro» que dificulta su clasificación disciplinaria e industrial. Se trata de una plataforma tecnológica que algunos autores califican de «tecnologías invasivas» ya que pueden alterar el desarrollo, características y futuro de todos los sectores industriales.

Desde el punto de vista económico podemos diferenciar en este momento cuatro estadios bien diferenciados en la cadena de valor:

1) Nanomateriales, son estructuras de escala nano no procesadas o procesadas de forma limitada para su uso inmediato, tales como nanopartículas, nanohilos, nanotubos, puntos cuánticos, fulerenos, dendrimeros y materiales nanoporosos.

2) Productos nanointermedios entre los materiales de base y los productos terminados, definidos precisamente como elementos a nanoescala necesarios para obtener otros bienes, pueden incorporarse encapsulados en una matriz o formar parte de la estructura masiva en superficie o en el volumen (nanoestructuras). Ejemplos de productos nanointermedios: pinturas, revestimientos, tejidos, chips de memoria, medios de contraste, componentes ópticos, materiales ortopédicos o los cables superconductores.

3) Productos nano acabados, son bienes que incorporan las nanotecnologías por incorporación de nanomateriales o de productos nanointermedios. Una relación no exhaustiva de nanoproductos acabados: cremas solares, cristales autolimpiantes, medicamentos, alimentos precocinados, recipientes plásticos, electrodomésticos, vehículos, ropa, aviones, ordenadores o aparatos electrónicos.

4) Herramientas nano son instrumentos para la investigación o la producción a escala nanométrica que configuran tanto el equipo como el software aplicado para visualizar, manipular y dar forma a la materia en la escala

nano, por ejemplo microscopios de fuerza atómica, equipos de impresión o aplicaciones para el modelaje molecular que pueden intervenir tanto en la producción de nanomateriales como de nanointermedios o nanoacabados en su caso.

La National Science Foundation, la agencia americana que apoya la investigación científica no médica, estimó en 2001 que en 2015 el mercado *nano* alcanzaría la cifra de 1 billón de dólares US, cifra que desde entonces se revisó anualmente al alza⁹.

Según Lux Research Inc. el valor del negocio *nano* en 2008 fue de 238 millardos de dólares US. Para 2015 estima que el negocio alcanzará la cifra de 3,1 billones de dólares US, de los cuales los nanoproductos acabados representarán 2,7 billones de ventas, los nanointermedios 432 millardos y los nanomateriales 3 millardos¹⁰. Por tanto el valor financiero atribuido en esa proyección a los nanomateriales es ínfimo comparado con el valor estimado para los bienes finales. La investigación científica se centra en los nanomateriales, el negocio en sus aplicaciones comerciales.

Sin ánimo de ofrecer una clasificación exhaustiva de campos de aplicación de las *nanotec* que se presentan como positivas por sus defensores, podemos señalar con SERENA (2002)¹¹ los siguientes: 1) Aplicaciones estructurales, nuevos materiales: cerámicas y materiales nanoestructurados, nanotubos, y recubrimientos con nanopartículas; 2) Procesamiento de la información: nanoelectrónica, optoelectrónica, y materiales magnéticos; 3) Nanobiotecnología y nanomedicina: encapsulado y dosificación dirigida de fármacos, reconstrucción de partes dañadas; 4) Sensores; 5) Procesos catalíticos y electroquímicos; y 6) Aplicaciones a largo plazo: sistemas para computación cuántica, autoensamblado molecular e interacción de moléculas orgánicas con superficies.

A pesar de los posibles bienes y beneficios que desde mi perspectiva pueden reportar las *nano*, el resultado de la orientación actual de la ciencia –como puede comprobarse en la lista– está guiada por la ganancia comercial

9. BERGER, M., *Debunking the trillion dollar nanotechnology market size hype*, Nonowork, 2007, www.nanowork.com/spotlight/spotid=1792.php.
10. Lux Research Inc. es una de las consultoras de referencia en Europa y EE UU en los estudios de mercados que ha elaborado indicadores *ad hoc* para el seguimiento del negocio de las nanotecnologías. En el presente trabajo se aportan datos obtenidos de los *The Nanotech Report. Investment Overview and Market Research for Nanotechnology* que periódicamente publica y los de 2008 de *Nanomaterials State of the Market Q3 2008: Stealth Success, Broad Impact*.
11. SERENA DOMINGO, Pedro Amalio, «Nanociencia y nanotecnología: aspectos generales», *Encuentros multidisciplinares*, 12, UAM, Madrid, septiembre-diciembre 2002, p. 8.

y los decisores tienen como prioridad colocar en el mercado rápidamente productos de alta rentabilidad. No cabe alegar ignorancia sobre el rumbo de las aplicaciones, tal como plantea FOLADORI (2006): descubrimiento y aplicación van de la mano¹².

III. LA CIENCIA COMO NEGOCIO, EL ESTADO COMO GARANTE

Las nanotecnologías se mueven en la intersección de la ingeniería, la química, la física y la biología, y aprovechan los soportes informáticos, pero constituyen una nueva dimensión tecno-científica. El desarrollo de las aplicaciones nano exige del concurso de millares y millares de trabajadores con una alta cualificación profesional, técnica y científica. Lo que comportará a su vez un crecimiento acelerado de la productividad media del trabajo. De confirmarse esta tendencia, se verificaría nuevamente una de las hipótesis más desconocida, anticipadora y extemporánea (respecto a su época) de entre las avanzadas por MARX en las *Teorías sobre la plusvalía (Historia crítica de la plusvalía)*.

Para comprender el impacto y dimensión del fenómeno *nanotec* hay que ponerlo en relación con el tiempo que transcurre entre el momento de la invención técnica y el de la fabricación generalizada de la mercancía con la consiguiente realización de la ganancia. Según GUTIÉRREZ ESPADA la fotografía tardó 112 años (1727-1839) entre el descubrimiento y su comercialización; el teléfono 56 años (1820-1876), la radio 35 años (1867-1902), el radar 15 años (1925-1940), la televisión 12 años (1922-1934), y el transistor 10 años. Y, desde 1972, se viene aplicando la Ley de Moore, según la cual cada 18 meses se duplica la capacidad de los microprocesadores. En 1959 Richard FEYNMANN planteó la posibilidad teórica de la nanotecnología. Desde la invención en 1981 del primer nanoscopio, el microscopio de «efecto túnel», al comienzo de la investigación masiva con apoyo estatal en EE UU, tras crearse en 2001 la National Nanotechnology Initiative, transcurrieron 20 años y cuatro años después, en 2005 las inversiones privadas en I+D superaron a los fondos públicos; lo cual es un indicador de que las empresas que trabajan en nanoaplicaciones consideran un hecho que sus investigaciones se van a transformar en mercancías realizables en el mercado, con la consiguiente recuperación del capital invertido y la obtención de importantes ganancias. Todo lo anterior llevó al Centro por la Nanotecnología Responsable (CRN, en sus siglas

12. FOLADORI, Guillermo, «La influencia militar estadounidense en la investigación de las nanotecnologías en América Latina», en *Rebelión*, 8 de noviembre de 2006. Ver: www.rebelion.org.

inglesas) a afirmar en un informe en 2006 que el desarrollo de las nanotecnologías puede ser «comparable quizás a la Revolución Industrial pero comprimido en unos cuantos años».

Como señala Ernest MANDEL (1972)¹³ la aceleración de la innovación tecnológica es un corolario de la aplicación sistemática de la ciencia a la producción y, a su vez, la reducción del tiempo de rotación del capital fijo está estrechamente relacionada con el ritmo de la innovación. MANDEL concluye que las rentas tecnológicas se han convertido en la principal fuente de ganancia extraordinaria bajo el capitalismo tardío. Por tanto las invenciones se convierten en una «rama» de la actividad económica y la aplicabilidad de la ciencia a la producción se convierte en un factor discriminante de las prioridades en el esfuerzo investigador. Esta idea que podemos ya encontrar de forma embrionaria en MARX¹⁴ se ha materializado en la economía de la globalización capitalista. La evolución de la monetización y rentabilización de la ciencia ha sido analizada desde la Segunda Guerra Mundial por diversos autores como SILK y LEONTIEF.

En una economía de mercado el capital que se invierte en la producción genera una producción continua de mercancías y una valorización casi asegurada de antemano. Sin embargo no existe esa seguridad en el capital invertido en inventos mientras no se traduzca en la producción de nuevas mercancías o en alteraciones de las cualidades de las existentes, por lo que el riesgo para las ganancias del capital invertido en investigación es mayor que en el caso del invertido en la producción de bienes y servicios. Ésta es la explicación de por qué son las grandes corporaciones las que invierten en I+D como es el caso de IBM, Fujitsu e Intel que han dedicado importantes sumas a la investigación nano. Más del 70% de las aproximadamente 9.000 patentes sobre nanotecnologías, en 2006, pertenecían a grandes corporaciones¹⁵. Pero también es la explicación de la decidida intervención del Estado en el campo investigador en los países industrializados.

El Estado tiene como funciones para asegurar la reproducción ampliada del capital junto con la represión de las amenazas al sistema y la integración de las clases dominadas, procurar las condiciones generales de producción que no facilita la actividad económica privada. Esta tercera pieza del papel del Estado tiene tres componentes: las que refieren a las premisas sociales

13. MANDEL, E. (1972), *El capitalismo tardío*, Ediciones Era SA, México DF, 1979.

14. MARX, Karl (borrador 1857-1858), *Elementos fundamentales para la crítica de la economía política*, 2 Vol., Siglo XXI, Madrid, 1972.

15. Datos aportados por Guillermo FOLADORI en la entrevista «La nanotecnología ya está aquí y puede cambiar radicalmente el mundo», en *SIREL*, 1273, 2 de junio de 2006. Se puede encontrar en www.rel-uita.org.

generales (orden social, construcción del mercado y sistema monetario), las materiales generales (infraestructuras, redes de transporte y comunicación...) y las de reproducción científica, cultural e intelectual.

Ni siquiera los más acérrimos neoliberales del equipo de Bush prescindieron de esta última de las funciones básicas del Estado: invertir dinero público en asuntos de interés privado que no captan capitales privados durante un tiempo. El presupuesto de la Nacional Nanotechnology Initiative (NNI/USA) fue de 1.351,2 millones de dólares, en 2006, de 1.392,1 millones en 2007 y de 1.444,8 millones para ejecutar en 2008. Conviene comparar lo gastado por el mismo gobierno en medio ambiente y salud y seguridad laboral: en 2006 fueron 37,7 millones de dólares, en 2007 la cifra fue de 45,8 millones y en 2008 el presupuesto es de 58,6 millones. Entre 1997 y 2006 los gobiernos de los países industrializados invirtieron casi 6 millardos de dólares en nanotecnologías. De ahí el interés en el tema por parte de la OCDE que ha constituido una importante Comisión de Seguimiento de las *nano*.

Al igual que señala el premio Nobel en economía Joseph E. STIGLITZ (2003)¹⁶ refiriéndose al sector de la que durante años se conoció como Nueva Economía (internet, investigación básica en medicina y biología y las denominadas nuevas tecnologías), en las *nanotec* el principal gasto en I+D durante un largo período ha sido del Estado en los países, particularmente EE UU, que apostaron por desarrollar la investigación básica y aplicada. Las cifras y porcentajes referidos a la inversión pública y privada en las *nano* que aportan Lux RESEARCH y CIENTIFICA¹⁷ no coinciden pero ambas entidades muestran la misma tendencia: en el momento en que la rentabilidad comienza a crecer la aportación privada de las empresas, pero también de capital-riesgo, y disminuye el peso relativo de la aportación pública. En resumen: el esfuerzo inversor en la época de tanteo sin aplicación, mercado y ganancia ha venido de la mano de la investigación pública. Ello constituye una de las cónicas paradojas del neoliberalismo del Estado mínimo: con dinero público se allana el camino al gran negocio privado.

IV. LA DIMENSIÓN ECONÓMICA DEL FENÓMENO NANO

Si al principio del siglo XXI el horizonte se centraba en las oportunidades tecnológicas¹⁸ en 2010 se centra en las de mercado. Muchos de los estu-

16. STIGLITZ, Joseph E. (2003), *Los felices 90*, Taurus, Madrid, 2003.

17. Cientifica Ltd 2008, *Nanotechnology Opportunity Report-3rd edition*, Executive Summary, www.cientifica.eu y Cientifica LTd 2009, *Nanotechnology takes a deep breath... and prepares to sav the world*, 20/05, www.cientifica.eu.

18. TORRES CEBADA, Tomás, «Nanoquímica y nanotecnología», *Encuentros multidisciplina-*

dios económicos sobre las *nano* han centrado su atención no tanto en la realidad de las mismas en el momento en que se elaboraban como en el valor futuro atribuible a las mismas o en los beneficios derivados de la inversión en la investigación de alguna de sus aplicaciones. Las cifras y las hipótesis –que frecuentemente no coinciden en los diferentes informes disponibles– están al servicio de distintos grupos de inversores privados que esperan generar el clima económico y social favorable para sus intereses. A pesar de ello pueden servirnos de referencia.

En 2006 se comercializaban en el mundo más de 350 productos a base de nanotecnologías, unos 201 en el ámbito «salud y deporte», 34 en el de «hogar y jardinería», 33 en el de «electrónica y PC», 29 en el de «comida y bebida», 22 en el de «multifuncionales», 15 en el del «automóvil», 14 en el de «electrodomésticos» y 5 en el de «productos infantiles».

En un solo año el aumento fue tal que, a finales de 2007, se identificaron más de 580 productos con presencia *nano* en el mercado¹⁹. La UNESCO califica la situación como una «*carrera hacia la comercialización*» de aplicaciones²⁰. Entre 2015 y 2030 se espera que los nanoprodutos hegemonicen campos tan diversos como el de materiales resistentes y ligeros, los componentes electrónicos informáticos de alta velocidad, los fármacos más eficientes por rápidos en su actuación sobre el torrente sanguíneo o los almacenamientos magnéticos de alta capacidad.

Diversos cálculos sitúan el negocio de las *nano* para el año 2015 en 340.000 millones de dólares en materiales, 300.000 en electrónica, 180.000 en productos farmacéuticos, 100.000 en químicos, 70.000 en aeroespacio, 45.000 en medio ambiente, 30.000 en salud, etc. Si en 2004 las *nano* supusieron menos del 0,1% de los ingresos de la producción industrial, algún estudio estima que en 2014 será el 14%²¹.

Desgraciadamente los datos en investigación en nanotecnología militar ya son una realidad que desde los 70 millones de dólares de 2000 han alcan-

res, 12, UAM, Madrid, septiembre-diciembre 2002, p. 20. El autor afirmó premonitoriamente «... *todo este desarrollo (de las nano) promete un impacto social y económico mayor en varios órdenes de magnitud que el proporcionado por la tecnología "submicrométrica" que es la base de la electrónica moderna y de las amplias capacidades de telecomunicación que existen actualmente*».

19. <http://cenamps.blogspot.com/2006/11/nanotechnology-consumer-product.html>. Para más información véase www.nanotechproject.org.

20. UNESCO, *The ethics and politics of nanotechnology*, París, 2006, p. 12.

21. UNEP GEO YEARBOOK 2007. Entre las proyecciones existentes para el caso español véase el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011.

zando la cifra de 436 millones en 2006 aplicados a miniaturización de satélites y aviones de reconocimiento, microrobots soldados, materiales de equipamiento para los soldados humanos, micro-fusión nuclear, guerra química y bacteriológica.

La preponderancia de los EE UU en esta carrera es evidente constatando el número de empresas que trabajaban en *nanos* en 2005: 430 norteamericanas frente a 110 en japonesas, 94 alemanas, 48 británicas, 20 chinas, 19 francesas, 18 canadienses, 14 israelíes y suizas, 11 australianas, 10 holandesas, 9 taiwanesas, 7 austriacas y suecas, 6 coreanas y filandesas, 5 rusas y 3 respectivamente italianas y españolas. En 2009 según Científica, el incremento inversiones rusas y chinas en nanotecnologías ha sido notable. EE UU sigue llevando la delantera por el crecimiento vertiginoso de patentes norteamericanas entre 1997 y 2006.

Como ocurrió en el caso de la introducción en la producción industrial de la energía eléctrica, catalizadora en su momento de la sincronización del trabajo fabril, o de la expansión de las denominadas nuevas tecnologías, la incipiente fabricación de nanoproductos o el uso de nanomateriales en bienes convencionales está favoreciendo la concentración del capital y la integración horizontal y vertical de las empresas.

Y, como ocurrió en los casos citados, la inversión en aplicaciones industriales de las nanotecnologías y en la comercialización de los nanoproductos de capitales ociosos excedentes, está representando una importante tabla de salvación ante las oscilaciones de la tasa de ganancia derivada de la crisis y la caída tendencial de la misma en los sectores industriales tradicionales y maduros. El gran incremento de inversiones y ganancias en el campo *nanotec* anterior a la crisis financiera y productiva originada en 2008, muy probablemente se consolide como una de las vías de escape del capital en la actual situación.

V. TEMERIDAD Y RIESGOS

El paladín de las nanotecnologías, K. Eric DREXLER (1992)²², reconoció que «... *hay muchas personas, incluido yo, que ven con considerable inquietud las consecuencias futuras de esta tecnología (...) es muy alto el riesgo de que la sociedad no los use debidamente por falta de preparación*». Pero su capacidad de prevenir las consecuencias del uso de las *nano* se vio sumamente limitada al no pre-

22. DREXLER, K. Eric (1992), «Introducción a la nanotecnología», en KRUMMENACKER, M. y LEWIS, J. (coords.), *Prospects in Nanotechnology, Toward Molecular Manufacturing*, Wiley, Nueva York, 1992, p. 21.

guntarse sin prejuicios por los riesgos inherentes a la tecnología y al control social de la misma ya que situó la causa del riesgo en el mal uso de las nanotecnologías por parte de la sociedad por falta de preparación. La posible víctima es responsable de la su posible desgracia originada por terceros. Un auténtico tratado en tres líneas de externalización de responsabilidades y una muestra más del desarme ante el riesgo por incomparecencia del principio de precaución.

Las propiedades de estas novedosas nanopartículas y nanoestructuras son todavía, en gran parte, desconocidas, pero la exposición de los trabajadores en sus empresas y de los consumidores va en aumento de forma descontrolada pese a que todos los expertos coinciden en que la materia a nanoescala tiene propiedades y efectos muy diferentes que en las escalas micro, meso y macro. A todo ello hay que añadir que con la producción y comercialización se han liberado al medio ambiente nanomateriales y nanoproductos al margen de toda racionalidad: sin evaluación previa de los efectos e impactos, sin constatar la capacidad de adaptación y metabolización de la biosfera y, por tanto, sin considerar los procesos bioenergéticos de la naturaleza²³.

Se han lanzado al mercado productos cosméticos de uso diario y universal, medicinas para la impotencia sexual masculina, raquetas de tenis, cristales de coche autolimpiantes, vidrios reforzados con nanometales, tejidos de ropa, bayetas repelentes del agua y/o del polvo y juguetes de niños con licencias otorgadas al material en su estado «normal» sin pruebas específicas de los efectos del material nano sobre los usuarios.

Más de dos millones de trabajadores y trabajadoras estaban expuestos laboralmente a nanopartículas en el año 2006, concretamente a 39 variantes nano de carbono, 41 de plata, 16 de SiO₂, 11 de TiO₂, 16 de ZnO y 1 de CeO₂, sin que mediara prevención ni reglamentación específica. Lux Research en el citado informe de 2008 estima que hasta 2014 se crearán en el mundo 10 millones de puestos de trabajo directos en los diversos campos *nanotec*²⁴.

El informe *Nanotechnology: small matter, many unknowns* de la compañía de reaseguros Swiss Re, publicado en 2004, se preguntaba si los desastres del amianto no serían un punto de referencia adecuado. Como las fibras de

23. Para conocer mejor la relación actividad productiva/naturaleza, véase BLOUNT, E., CLARIMÓN, L., CORTÉS, A., RIECHMANN, J. y ROAMNO, D. (coords.), *Industria como naturaleza. Hacia la producción limpia*, Los Libros de la Catarata, Madrid, 2003.

24. El informe no detalla cuántos puestos de trabajo serán de nueva creación o no; pero lo relevante es el número de personas expuestas laboralmente. Para el caso europeo se puede consultar HULLMANN, A., *The economic development of nanotechnology: An indicator based analysis*, Comisión Europea, Dirección General de Investigación, 2006.

amianto, dice el informe, las nanopartículas podrían causar problemas sencillamente a causa de su nano tamaño. Las nanopartículas pueden penetrar a través de poros donde otras partículas serían retenidas, efectivamente una vez en el organismo humano, pueden atravesar la barrera hematoencefálica, que evita que sustancias potencialmente tóxicas en el torrente sanguíneo entren en el cerebro.

La superficie altamente reactiva de los nanomateriales y su capacidad para atravesar membranas convierten a estos productos en sustancias con alto potencial de toxicidad según el citado informe de 2004 de The Royal Society. Según diversos estudios toxicológicos, los nanomateriales pueden penetrar profundamente en los pulmones de los mamíferos, alcanzar el cerebro a través de los nervios olfativos, penetrar sus defensas y causar daño oxidativo. Estudios con peces sugieren que al menos una clase de nanopartículas (los fulerenos C60) puede causar daños significativos al cerebro.

El informe de Swiss Re indica que las nanotecnologías presentan riesgos «revolucionarios» por lo que los científicos no pueden recurrir a la experiencia del pasado para evaluarlos. Actualmente no existe modo de medir la presencia de nanopartículas en el lugar de trabajo, y menos aún realizar pruebas de exposición a las mismas. No existen equipos de protección individual fiables para proteger a las personas de la exposición a nanopartículas no encapsuladas.

Pero los problemas no terminan ni en los usuarios de los productos ni en los trabajadores expuestos. El sociólogo brasileño Paulo Roberto MARTINS²⁵, coordinador de RENANOSOMA e investigador de la Agencia IPT señala las siguientes cuestiones ético-políticas: Efectos ambientales irreversibles, la brecha científico-técnica entre Norte y Sur, los efectos sobre la división social e internacional del trabajo, las tendencias a la privatización del conocimiento (patentes y otras formas de protección de la propiedad intelectual), el secretismo y la opacidad en la era de la «guerra global contra el terrorismo», las aplicaciones militares (ya citadas anteriormente) y el futuro de la naturaleza humana («trans-humanismo») si se realiza la simbiosis o mejor dicho la síntesis nano-bio. Por ello se plantea las muy pertinentes preguntas: ¿Quién controlará la nanotecnología? ¿Quién se beneficiará, quién saldrá perdiendo? ¿Implicará nuevos riesgos para la salud humana y el medio ambiente? Los

25. Ver sus aportaciones en *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente*, Xamá, Sao Paulo, 2006; «Nanotecnología y sociedad: un desafío para todos», en *Daphnia* núm. 46, Verano 2008 y en las ponencias «Impactos sobre países y sectores económicos» y en «Riesgos y beneficios para la salud humana», en el curso *Nanotecnologías: sociedad, salud y medio ambiente*, Facultad de CC. Químicas de la UCM, 3 al 5 de marzo de 2008, www.istas.ccoo.es.

problemas de cohesión social, exclusión y desigualdades se plantean hoy a escala mundial y en palabras de SHAND y WETTER: «*De continuar la actual tendencia, la nanotecnología aumentará el abismo entre ricos y pobres y consolidará el poder económico de las compañías multinacionales*»²⁶.

VI. RIESGOS Y PRECAUCIONES

No existen regulaciones y normas aplicables al mundo de la nanomateria²⁷. El motivo de esta ausencia la explicaron SHAND y WETTER (2006): «*Convencidos de que la convergencia tecnológica a escala nano “es el futuro”, los países que lideran este sector –en particular EE UU, Japón y algunos países europeos– se han embarcado en una carrera para asegurarse una posición ventajosa, relegando a un segundo plano las consideraciones sanitarias y ambientales y dejando para más adelante las cuestiones socioeconómicas. La normativa, si no puede evitarse, pretenden que sea voluntaria para no entorpecer el desarrollo comercial de la I+D nanotecnológica*»²⁸.

Por tanto, pese a las posiciones interesadas en insistir y convencernos en que REACH pensado para las sustancias químicas es el reglamento de aplicación a las *nano*, sólo cabe responder con la explicación arriba realizada: la propia naturaleza de los nanomateriales con propiedades y efectos distintos a los materiales originarios impide la aplicación de las normas sobre sustancias químicas redactadas para el mundo micro y meso y no para el nano²⁹. Si en la nanoescala aparecen propiedades nuevas, ¿cómo puede defenderse que no hace falta una regulación específica? Mientras no exista un «NANO-REACH» como reglamento específico y con responsabilidades explícitas para los fabricantes, hay que aplicar el principio preventivo «*no data, no market*».

Desde las corporaciones se aduce que la Responsabilidad Social de las Empresas bastaría para autorregular la producción nano. Nada más lejos de la realidad bajo el desregulado neoliberalismo. El argumento no vale ni para

26. SHAND, Hope y WETTER, Kathy Jo., *op. cit.*, p. 166.

27. El primer y tímido paso que se ha dado en la UE es la directiva relativa a los productos cosméticos (76/768 CEE) adoptada por el Parlamento Europeo y el Consejo en junio de 2009 que entrará en vigor 42 meses después (¡sic!) para el conjunto de productos y 36 meses (¡resic!) para los productos que contengan nanomateriales, pero la información de la toxicidad seguirá estando en manos de los industriales como ha señalado el Comité científico de riesgos sanitarios emergentes y nuevos en *Risk Assessment of Products of Nanotechnologies*, dirección General de Salud y de los Consumidores, Comisión Europea, 2009.

28. SHAND, Hope y WETTER, Kathy Jo., *op. cit.*, p. 188.

29. Por ello no es aceptable que los nanomateriales y nanoprodutos entren en los supuestos de exenciones de registro de los Anexos IV y V y no se les puede aplicar la norma de las 10 TM.

quien está expuesto en la producción ni quien lo está al consumir. La Organización de Consumidores y Usuarios de la UE ha sido contundente: «*Los códigos de conducta voluntarios, no son la solución en un área tan controvertida y sensible. La falta de ambición que se esconde tras estas medidas son patentes*». Tras la crisis financiera de los mercados desregulados y dueños del mundo no cabe ninguna confianza en el buen hacer sin norma ni control de los intereses privados minoritarios cuando lo que está en juego son los intereses públicos de la mayoría social.

No existe inversión en seguridad ni en evaluación de riesgos laborables, ambientales o sociales, ni se han realizado estudios del ciclo de vida de los productos nano. Andrew MAYNARD, a comienzos de 2006, estimaba que de los 9.000 millones de dólares que se gastan anualmente en el mundo en I+D nanotecnológica, apenas entre 15 y 40 millones se destina a investigación sobre riesgos³⁰. Sólo un dólar de cada 300 invertidos se destina a investigar los riesgos de las nanotecnologías. Javier ECHEVERRÍA del Instituto de Filosofía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) propone dedicar obligatoriamente el 5% de los proyectos de I+D públicos a estudios de impacto, evaluación de riesgos, investigación toxicológica. Por su parte la Confederación Europea de Sindicatos (CES) propone el 8%. Sea cual sea la cifra óptima cabe concluir que hace falta incrementar la investigación sobre seguridad, toxicidad, riesgos ambientales, efectos sobre la salud, problemas éticos e impactos sociopolíticos de las nanotecnologías.

Ante el ninguneo de los riesgos por parte de corporaciones y administraciones una coalición internacional de 44 organizaciones sindicales, ambientales y de defensa de la salud pública y partidarias de la necesidad de normativas públicas –incluidas la UITA, CSI y la AFL-CIO, BCTGM y United Steelworkers de EE UU– ha hecho un llamamiento en pro de una regulación amplia y enérgica en todos los niveles de la nanotecnología y sus productos. La tecnología, dice la coalición, impone riesgos específicos que requieren regulación específica, transparencia y la participación de la sociedad en las decisiones. Asimismo la UITA ha adoptado en marzo de 2007 una importante resolución que pretende movilizar a las organizaciones afiliadas para debatir con el resto de la sociedad y los gobiernos las posibles consecuencias y reclamar de los gobiernos y los organismos internacionales que corresponda, la aplicación del principio de precaución, prohibiendo la venta de alimentos, bebidas y forrajes, así como todos los insumos agrícolas que incorporen nanotecnología, hasta que se demuestre que son seguros y se apruebe un régimen

30. Véase «Nanodollars», *New Scientist*, 25 de febrero de 2006; y «Nano safety call», *New Scientist*, 11 de febrero de 2006.

regulador internacional específicamente diseñado para analizar esos productos.

VII. UNA CUESTIÓN DEMOCRÁTICA CENTRAL

En 1962 el economista Ernest MANDEL afirmó en referencia a la liberación de la energía nuclear y los avances de la electrónica «... *la tercera revolución industrial puede conducir a la abundancia o a la destrucción de las libertades, de la civilización y de la humanidad*»³¹. Treinta años más tarde los científicos FARMER y ALETTA en referencia a las *nano* afirmaron que su «... *impacto sobre la humanidad y la biosfera podría ser enorme, mayor que el de la revolución industrial, las armas nucleares o la contaminación del medio ambiente*»³². El dilema ante las *nano* es aún más radical y complejo que los anteriores –a los que se suma– y una vez más se enfrenta la lógica a largo plazo de la ecología y las personas con la cortoplacista del valor de las acciones.

La naturaleza de la nanociencia abre importantes interrogantes sobre los límites éticos a la investigación y, a su vez, la experiencia respecto a las consecuencias de las aplicaciones de la ciencia y la técnica bajo el capitalismo tardío nos obliga a una aplicación decidida y consecuente del principio de precaución. Lo razonable, afirma Jorge RIECHMANN³³, sería avanzar con cautela y «... *las decisiones políticas a la hora de proteger el medio ambiente (y con ello los intereses de bienestar de las futuras generaciones) deberían tomarse adelantándose a la certidumbre científica. Una de las formulaciones más sencillas del principio de precaución reza: la incertidumbre científica no debe ser motivo para eludir acciones preventivas*».

Actualmente los actores del escaso debate son científicos y empresarios. La importancia y alcance del tema exige un debate público y colectivo sobre el mundo *nano* porque están en juego transformaciones radicales en los sistemas sociales y económicos y más adelante la redefinición misma de la condición humana. Las cuestiones relevantes son: ¿Qué bienes satisfacen las necesidades humanas? ¿Qué cambios tecnológicos mejoran la vida de las per-

31. MANDEL, Ernest (1962). *Tratado de Economía marxista*, Ediciones Era, México DF, 1969, Tomo II, p. 215.

32. FARMER, J. Doyne y ALETTA, d'A. Belin (1992), «Vida artificial: la evolución futura», en *Artificial Life II*, Santa Fe Institute of Studies in the Science of Complexity, vol. X, Addison-Wesley, Redwood City, 1992, p. 815.

33. Ver sus contribuciones en «Nanotecnologías: para ir avanzando en nuestra reflexión», en el curso *Nanotecnologías: sociedad, salud y medio ambiente*, Facultad de CC. Químicas de la UCM, 3 al 5 de marzo de 2008, www.istas.ccoo.es y «Nanomundos, multiconflictos», en *Daphnia*, núm. 46, Verano 2008.

sonas? ¿A qué se deben dedicar hoy los recursos y la inventiva humana? Por ello siguen vigentes las grandes preguntas clásicas sobre la deliberación y la participación social en los procesos democráticos de decisión: ¿Qué hacer? ¿Quién participa? ¿Cómo se opta? ¿A quién sirve la conclusión?

La cuestión ahora, como siempre, no es fundamentalmente técnica o económica, es política, por lo que es útil la reflexión de MANDEL³⁴: «*Para evitar lo peor, es preciso someter su empleo a la dirección consciente de los hombres*». En definitiva, un problema de democracia que en palabras de Daniel BENSAÏD³⁵ sólo se materializará si se logra «*movilizar la fuerza social capaz de conjurar los peligros, acabar con la dictadura de los mercados y lograr la subordinación de la lógica económica al imperativo social*».

34. MANDEL, Ernest (1962), *Tratado de Economía marxista*, Ediciones Era, México DF, 1969, Tomo II.

35. BENSAÏD, D., *Cambiar el mundo*, Los libros de la Catarata, Madrid, 2004.

SECCIÓN IV: SOBRE LAS APLICACIONES NANOTECNOLÓGICAS

Conflictos éticos vinculados a la nanomedicina

MARIELA MAUTONE

SUMARIO.—I. DEFINICIÓN DE NANOTECNOLOGÍA Y SU RELACIÓN CON EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO.—II. POTENCIALES APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA EN EL CAMPO DE LA MEDICINA.—III. DILEMAS ÉTICOS PLANTEADOS POR LA NANOMEDICINA AL SER HUMANO.—1. *Conflicto entre beneficencia y maleficencia.*—2. *Dilemas en relación con el respeto por la autonomía y la libertad.*—IV. DILEMAS ÉTICOS PROVOCADOS POR LA NANOMEDICINA EN SU RELACIÓN CON EL CONTEXTO SOCIAL.—V. SÍNTESIS.—BIBLIOGRAFÍA.

I. DEFINICIÓN DE NANOTECNOLOGÍA Y SU RELACIÓN CON EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO*

Los campos emergentes de la nanociencia y nanoingeniería están llevando a la comprensión y el control sin precedentes de los bloques fundamentales de todas las cosas físicas. Es probable que esto cambie la forma de casi todas las cosas —desde las vacunas hasta las computadoras, desde los neumáticos de automóviles, a los objetos que no se imaginaban y que ahora se están diseñando y haciendo— (1). De esta forma, el National Science and Technology Council (NSTC) describía, en 1999, la impactante visión de la nanotecnología. Ponía, así, de manifiesto el surgimiento de una tecnología con un enorme alcance y despertaba, en quienes accedían al tema, la conciencia de que traería enormes beneficios y potenciales efectos secundarios, no deseados, para la humanidad y el medio ambiente.

La nanotecnología es la tecnología que opera a la escala de longitud entre 1 y 100 nanómetros. Un nanómetro es una mil millonésima parte de 1 metro. La nanotecnología consiste en la posibilidad de creación de material funcional, dispositivos y sistemas a través de los cuales se controlan materiales de la escala de longitud de 1-100 nanómetros. De esta forma se logra la

* Las notas que aparecen en el texto, tienen su correspondencia en el apartado de bibliografía citada.

explotación de fenómenos nuevos con propiedades (físicas, químicas, mecánicas, eléctricas) presentes sólo a nivel de nano escala (2).

Las nanotecnologías podrían ofrecer la posibilidad de actuar al mismo nivel que los procesos biológicos y focalizarse en determinadas moléculas e incluso átomos, lo cual no es posible con las tecnologías hasta el momento disponibles. De esta manera se podría lograr una mejor comprensión de procesos biológicos fundamentales y actuar sobre ellos. Esta cualidad se ha comparado con la acción sobre los «ladrillos» y ensambladores de la materia física (3).

Cuando George KHUSHF explica el significado de la nanotecnología nos dice que existe tres formas corrientes de definirlas (4).

1.–Para algunos, las nanotecnologías conllevan la posibilidad de manufacturar moléculas y átomos.

Si bien esta forma de definición puede resultar «reducida», soporta detrás la visión de Eric DREXLER que le atribuye a la nanotecnología la propiedad de poder ser ensambladores, pudiendo hacer prácticamente cualquier cosa prescindiendo de la mano de obra (5). La tecnología, para este autor, llevaría a un cambio radical con amplias posibilidades y con menor impacto ambiental, sustituyendo «fábricas contaminantes» por sistemas tan limpios como los bosques.

2.–Una segunda definición de las nanotecnologías es más amplia y la menciona como una «grab bag» que podría traducirse como una bolsa con diferentes elementos (variados) en su interior, unidos por el común denominador del tamaño, es decir la nanoescala. A esta definición no se le da ningún otro significado o visión trascendente.

3.–Por último, KHUSHF menciona el llamado «camino del medio», adoptado por la National Nanotechnology Initiative (NNI), que reúne un grupo de factores vinculados por el tamaño (nanoescala) que articulan una oportunidad única para el desarrollo conjunto de la ciencia y la tecnología.

El desarrollo de las nanotecnología nos lleva directamente a reflexionar sobre el modo de adquisición del conocimiento científico. La nanotecnología es una disciplina tecno-científica que requiere una amplia conexión entre el proceso de descubrimiento (ciencia pura) y el de fabricación (tecnología), en conjunto con la explotación de nuevos fenómenos y la manipulación de átomos y moléculas a nivel de nanoescalas. La nueva era de la ciencia es *transdisciplinar*, ya que integra el conocimiento científico con el no-científico, el humanístico y el social.

La producción de conocimiento aparece vinculada con dos elementos claves:

1.–El incentivo económico: el objetivo del desarrollo científico y técnico no es la producción de conocimiento *per se*, sino también el desarrollo económico. Para lograr este objetivo debe existir un soporte financiero que podría ser público pero que frecuentemente pertenece al sector privado.

2.–La norma de utilidad: ¿cómo se valora la utilidad (validez científica y económica) de los proyectos científicos?

Esta utilidad debería integrarse en el marco de los valores que una sociedad tiene como referencia para lo que considera una vida buena. La inversión que la sociedad hace para promover el avance científico debería ser una decisión política, controlada por el Estado, en base a lo que el conjunto de la sociedad determinó como sus prioridades.

Sin embargo, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo existe una tensión entre las necesidades de la sociedad y los intereses que impulsan las tecnociencias y, en el momento actual, el poder económico ha marcado el rumbo del desarrollo tecnológico encontrándose con dilemas éticos frecuentes. Por esta razón, a menudo las agencias gubernamentales son presionadas por la industria para justificar gastos públicos en ciencia y la financiación de los proyectos se vincula directamente con la posibilidad de obtener ganancia económica.

La reflexión ética sobre los alcances de las nanotecnología debería estar presente desde el comienzo de los proyectos y no cuando ya es factible el uso del producto en el mercado. A mí entender, la reflexión ética sobre la investigación científica (dentro de la que se incluye la nanotecnología) se debería hacer a varios niveles de forma simultánea, teniendo en cuenta, de manera especial, que: a) el investigador es ante todo un ciudadano al que se le debería pedir reflexión ética sobre las consecuencias de sus actos sobre los seres humanos, la sociedad y el medio ambiente; b) se debería informar a la población sobre las nanotecnologías y promover debates públicos. Al respecto, George KHUSHF (4) habla de la necesidad de construir un puente entre la cultura, la humanidad, las ciencias sociales y la ciencia y la tecnología, porque la conciencia del impacto que podrá tener la tecnología sobre la salud, la vida privada y el medio ambiente debería movilizar la conciencia social para encontrar los valores de reflexión que deben guiar las investigaciones responsables.

De acuerdo a lo expuesto y a los conceptos de J. ZIMAN (6), las nanotecnologías presentan la casi fusión de la ciencia con la tecnología represen-

tando el ejemplo más preciso de lo que ha denominado la «ciencia post-académica». En esta misma línea, George KHUSHF considera que la nanotecnología no es un proyecto científico en sí mismo sino un proyecto filosófico, una suerte de filosofía de la ciencia que caracteriza a la ciencia en un período revolucionario.

II. POTENCIALES APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA EN EL CAMPO DE LA MEDICINA

La nanotecnología ha permitido avances en áreas de diagnóstico y de tratamiento tanto *in vivo* como *in vitro*. Ha desarrollado nuevos sistemas de distribución de drogas terapéuticas que permiten vehiculizarlas a lugares «blanco específicos», ha facilitado avances en el área de la medicina regenerativa y ortopédica y ha tratado de reproducir el ambiente biológico en la interacción de ADN y ARN con genes y proteínas específicas (7).

a) Las técnicas diagnósticas basadas en imágenes usando nanopartículas biocompatibles como medio de contraste permitieron aumentar la resolución de las imágenes. Así, se logró mejorar los diagnósticos que ofrecen la Tomografía Computarizada, la Resonancia Magnética, la Tomografía por Emisión de Positrones (PET) y la Tomografía Computarizada por Emisión de Fotones Individuales (SPECT).

Por otra parte, también se está trabajando para mejorar diagnósticos *in vitro*, o de laboratorio bioquímico, a través de sistemas microelectromecánicos capaces de realizar análisis bioquímicos. Las técnicas a nanoescala permitirían una mayor sensibilidad diagnóstica. Lo que se busca lograr es el «laboratorio en un chip», es decir que incorporando micromatrices (microarrays) con circuitos integrados (microchips) se lograría realizar determinaciones bioquímicas por vía transdérmica y reducir, de este modo, las dimensiones de los aparatos que hoy requiere un laboratorio. Por ejemplo, a través de un brazalete aplicado sobre la piel se pueden medir fluidos corporales como el nivel de glucosa (7).

La nanotecnología con chips a nanoescala permite la nanomanipulación, es decir el uso de «gotitas» 1 billón de veces más pequeñas que los volúmenes usados en métodos convencionales. Usando esta tecnología, se puede examinar una «gota» de un fluido corporal buscando trazas de una sustancia química o de un virus.

b) La nanomedicina como herramienta terapéutica se ha desarrollado en diferentes áreas. Una de ellas es la vehiculización de drogas. Por ejemplo, utilizando campos magnéticos las nanopartículas de óxido ferroso pueden

vehiculizar una droga hasta el sitio óptimo deseado. En este campo, la nanotecnología ha supuesto una innovación a través de liposomas y, mediante la encapsulación de micelas, ha permitido la liberación controlada de drogas, permitiendo un mejor cumplimiento de los tratamientos y menos efectos colaterales (7) (8).

c) En el campo de la medicina regenerativa, se ha tratado de aplicar los avances de la nanotecnología creando microfibras que actúan como matriz extracelular que el organismo reconoce como «propia», dada la capacidad del nuevo material para interactuar con células del organismo y no estimular mecanismos de rechazo. De esta forma se podrían reparar tejidos lesionados.

d) Se está investigando la forma de mejorar los implantes ortopédicos usando superficies nanotubulares de titanio que permiten un crecimiento y diferenciación de células óseas correcto (6) (7). Se está profundizando, además, en la creación de implantes que interactúen con el sistema nervioso central; de esta forma ya se han mejorado los implantes cocleares y se ha avanzado en la obtención de prótesis retinianas para la recuperación de la visión (7).

e) A nivel biológico, se estudia la integración de los funcionamientos de genes con las proteínas y reacciones bioquímicas ensamblando el conocimiento generado en el campo de la biología con las matemáticas y la computación científica. Así, se ha logrado trabajar con ADN, ARN y oligonucleótidos y se ha logrado la distribución de genes a células específicas. Se ha logrado, asimismo, inhibir genes o promover la expresión de proteínas terapéuticas. Estos avances permiten obtener nuevas vacunas y avanzar en la terapéutica genética (7).

III. DILEMAS ÉTICOS PLANTEADOS POR LA NANOMEDICINA AL SER HUMANO

1. CONFLICTO ENTRE BENEFICENCIA Y MALEFICENCIA

Gracias al tamaño de las nanopartículas, estas pueden entrar a las células de los organismos, abolir defensas naturales y moverse hacia órganos y tejidos, permitiendo la llegada de drogas a los lugares «diana». Sin embargo, esto podría dañar al ser humano, ya que las nanopartículas pueden entrar fácilmente en un organismo, y una vez allí, pueden permanecer en tejidos y órganos por un tiempo indeterminado.

Las nanotecnologías son hábiles para transportar los principios activos directamente a las células enfermas a través de la ayuda de vehículos materiales especiales (como nanocápsulas o nanoesferas) capaces de pasar barreras biológicas de paredes de vasos sanguíneos, evitando la mayoría de los efectos colaterales de drogas, fundamentalmente las antineoplásicas. Por ejemplo, las nanopartículas de silicona, una vez inyectadas en la sangre, son capaces de entrar a las fenestraciones típicas y matar a las células cancerosas. No obstante, el tamaño de las nanopartículas preocupa porque tienen un potencial riesgo de interferir con funciones celulares normales.

Las nanopartículas, cuando entran al organismo y no se fijan, tienen un potencial riesgo de toxicidad, pueden dañar células. En este caso, alteraciones del ADN pueden determinar cambios en las funciones celulares; si altera las células germinales, estas modificaciones podrían ser transmitidas a la descendencia. La precaución debería ser extrema, mucho más si existen terapéuticas más seguras. Además, se debe recordar que las moléculas biológicas, vitaminas u hormonas, en caso de que sean transportadas por nanopartículas pueden permanecer en el organismo por tiempo indeterminado. A lo que hay que añadir que el problema del riesgo no sólo está presente en los materiales, sino en la posibilidad de transportar virus.

Las nanopartículas también pueden llevar al aumento de la liberación de radicales libres, secundario al efecto de la relación de masa. Estudios experimentales en animales usando nanomateriales han mostrado que a dosis equivalentes de masas, las partículas insolubles ultra finas son más potentes que grandes partículas de composición similar para causar inflamación pulmonar, daño tisular y tumores pulmonares.

En resumen, como se ha puesto de manifiesto con anterioridad, el beneficio de los avances en la nanotecnología puede desencadenar efectos adversos secundarios. Estos deben ser correctamente evaluados en investigación preclínica. Se deben comunicar los efectos adversos en publicaciones de divulgación científica, a los sujetos de investigación en lenguaje comprensible, se deberá obtener el documento de consentimiento voluntario de los participantes y el protocolo de investigación deberá ser aprobado por un Comité de ética de la investigación independiente de los patrocinadores.

2. DILEMAS EN RELACIÓN CON EL RESPETO POR LA AUTONOMÍA Y LA LIBERTAD

En el campo del diagnóstico por imágenes, existe la posibilidad de crear sistemas de alta especificidad para identificar moléculas. Los nanodispositivos médicos se definen como instrumentos que pueden ser usados con fines diagnósticos, o para monitorización de tratamientos, para el reemplazo o

modificación anatómica o de procesos fisiológicos. Se podría llegar a tener datos de alteraciones genéticas y ser usados en contra de un ser humano, por ejemplo por compañías aseguradoras o por empleadores.

Sólo un individuo informado de estas posibilidades puede actuar con libertad. La sociedad en su conjunto deberá estar informada y establecer las regulaciones que crea necesarias.

IV. DILEMAS ÉTICOS PROVOCADOS POR LA NANOMEDICINA EN SU RELACIÓN CON EL CONTEXTO SOCIAL

La investigación en el campo de la nanomedicina se está comportando como una investigación de tipo traslacional, es decir, que la investigación obtenida en el campo de las ciencias básicas es transferida de forma rápida al ser humano. Esto crea nuevos dilemas, ya que la falta de suficientes estudios preclínicos expone a los sujetos a potenciales efectos secundarios indeseables.

Autores como Thomas FAUNCE (9) plantean la obligación de garantizar la bioseguridad. Se debe reducir el riesgo de la exposición humana a nanopartículas de ingeniería (ENPs).

La exposición humana a ENPs puede ocurrir durante la manufacturación o por el uso de la nanotecnología en medicina humana o en bioseguridad. Las ENPs son muy móviles y altamente reactivas en el cuerpo humano. Se ha demostrado que las ENPs pueden causar daño en el ADN e inhibición mitocondrial, con respuestas variadas en animales, fundamentalmente inflamación y fibrosis pulmonar. Actualmente no existen métodos para el monitoreo de la exposición. Este problema requiere que la investigación sea controlada por las autoridades estatales.

Queda claro que existe un riesgo de daño potencial al ser humano insuficientemente valorado. Esto muestra la tensión entre intereses privados, que se mueven por la urgencia de poner en el mercado productos comercializables, y la seguridad pública, lo cual podría actuar en detrimento de la confianza de la sociedad a los avances científicos.

Más teniendo en cuenta que ya se ha informado de que intentos de investigadores de comunicar potenciales daños en publicaciones científicas han sido impedidos por los patrocinadores de la investigación.

Los principios bioéticos que regulan la investigación en seres humanos deben ser respetados. La investigación en nanomedicina debe ser valorada por los Comités de ética de la investigación que correspondan. Se debe cum-

plir con la declaración de Helsinki, con lo establecido en la Declaración sobre Bioética y Derecho de la UNESCO y/o las leyes en cuanto a investigación del país donde se realice la misma.

Por otra parte, la nanotecnología plantea el problema de la justa distribución de los beneficios de los avances en medicina y el acceso universal a estos. El alto costo de esta investigación pone de relieve el conflicto entre quién realiza la inversión económica y quién se podrá beneficiar de los avances tecnológicos y cuando la investigación se realiza con fondos privados los avances corren el riesgo de permanecer retenidos en forma de patentes e inaccesibles a la población en general.

La nanotecnología ofrece la posibilidad de controlar al ser humano en su vida particular. Podrían fabricarse billones de sensores invisibles, integrados a la indumentaria, edificios, vehículos, u objetos naturales. La nanotecnología permite el almacenamiento de todos estos datos en unidades que crean un «ambiente inteligente». En el Reino Unido, las cámaras destinadas al control del público hacen posible que un solo sujeto sea filmado 300 veces en un día. La nanotecnología permitiría integrar la información de fuentes diversas (9).

Si esta nanovigilancia invade la sociedad, los derechos humanos en lo tocante a la privacidad, la confidencialidad, etc. se verán amenazados. Se impone la normatización de códigos de conducta para científicos y médicos y la educación en valores de los profesionales.

V. SÍNTESIS

La nanotecnología implica la manipulación de la materia en una escala de una mil millonésima parte de un metro. Esto significa que su acción es a nivel molecular y/o al nivel donde se desarrollan los procesos biológicos básicos.

Esta tecnología está indisolublemente unida al descubrimiento científico, conformando el modelo más puro de la «ciencia post-académica», tal como ha sido definida por J. ZIMAN.

El problema de este «ensamblaje perfecto» es que los objetivos del avance en la materia están determinados por la industria, persiguiendo beneficios económicos. La búsqueda del bienestar de la humanidad no es siempre el objetivo prioritario de las nanotecnologías.

La fuerte inversión económica aplicada a esta nueva tecnología destina sólo el 0,4% del presupuesto al estudio del riesgo o de las potenciales consecuencias adversas para el ser humano o para el medio ambiente.

No existe una difusión del estado actual del desarrollo de las nanotecnologías entre la sociedad e incluso ha habido restricciones a la publicación de resultados entre científicos.

De esta forma, la sociedad está llegando tarde las reflexiones sobre las políticas de los gobiernos en materia de inversión en investigación y de los conflictos morales generados por la nueva tecnología.

Pensamos que la conciencia moral del investigador juega un papel fundamental para orientar el desarrollo tecnológico hacia el bienestar de la humanidad.

La información a la sociedad permitirá que ésta discuta abiertamente la utilidad, según el concepto moral de ZIMAN, convirtiéndose en un agente activo de decisión. La sociedad debe influir en la elaboración de leyes de investigación que protejan la seguridad así como el acceso justo a los avances de la ciencia. De forma más activa, debe promover y controlar a los Estados para que respeten la obligación moral que han asumido al adherirse a las declaraciones internacionales de Derechos Humanos, a la Declaración de Helsinki y a la Declaración sobre Bioética y Derechos Humanos de la UNESCO.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. NSTC (NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY SCIENCE), *Nanotechnology: shaping the World Atom*, Washigton: Nacional Science and Technology Science, 1999.
2. Definición de la NASA. Ames Research Center, 2004.
3. MOEIN, S., MOGHIMI, A. HUNTER, C., MURRAY, C. (†), «Nanomedicine: current status and future prospects», en *The FASEB Journal*, Review 19, 311-330 (2005).
4. KHUSHF, G., «The ethics of Nanotechnology vision and values for a new generation of science and engineering. Emerging Technology and Ethical Issues», en *Engineering: papers of Workshop*, octubre, 14-15, 2003.
5. DREXLER, E., «Nanotechnology», en *Nature nanotechnology*, vol. 11, octubre 2006.

6. ZIMAN, J., «Emerging out of nature of history: the plurality of sciences», en *Math Phys Eng Sci*, 2003, Aug 15, 361 (1809) 1616-33.
7. MURDAY J. S., MOLDIN, S. O., «Engineering Basic and Clinical Research in Catalyze Translational Nanoscience», *NSK Workshop Report*, 16-19 marzo 2008.
8. National Science Foundation Workshop on re-engineering Basic and Clinical Research to Catalyze Translational Nanoscience, 16-19 marzo 2009.
9. FAUNCE, Th., «Nanotherapeutics: new challenges for safety and cost-effectiveness regulation in Australia», *MJA*, vol. 186, 4, 2007.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ALLHOFF, F., «The coming era of nanomedicine», *The American Journal of Bioethics*, 9 (10) 3-11, 2009.
- BAWA, R. *et al.*, «The ethical dimensions of nanomedicine», *The medical clinics of Northamerica*, 9 (2007) 881-887.
- BUNGE, M., *Filosofía política, solidaridad, cooperación y Democracia Integral*, Gedisa editores, 2009.
- BRUCE, D., «Ethical and social issues in nanobiotechnologies», *European molecular Biology Organization*, 2006, vol. 6 (7), 2006.
- CCNE, Avis núm. 96: *Questions éthiques posées par les nanosciences, les nanotechnologies et la santé*.
- CNRS, *Avis sur les enjeux éthiques des nanosciences et nanotechnologies*, 12 octubre 2006.
- ETC, *Nanotecnología*, Documentos del grupo ETC.
- FAUNCE, Th., *Global Health law, ethics, and policy* (Journal), Winter 2007, 629-642.
- JOTTERAND, C. M. (†), «Nanomedicine: current status and future prospects», *The FASEB Journal*, 19, 311-330 (2005).
- JOTTERAND, F., «The politicization of science and technology: Its implications for nanotechnology», *Journal of Law, medicine & ethics*, Winter, 2006.
- KHUSHF, G., «Upstream ethics in nanomedicine: a call for research», *Nanomedicine* (2007) 2 (4) 511-521.
- RESNIK D. *et al.*, «Ethical issues in clinical trials involving nanomedicine», *Contemp clin trials*, 2007, july 28 (4) 433-441.

SPAGONOLO, A. *et al.*, «Outlining ethical issues in nanotechnologies», *Bioethics*, 2009, vol. 23 (7) 394-402.

TIHAMER, T. F., «Nanotechnology will change more than just one thing», *The American Journal of Bioethics*, 9 (10) 12-19, 2009.

WHITE, G. B., «Missing the boat on Nanoethics», *The American Journal of Bioethics*, 9 (19) 18, 2009.

XIA, T. *et al.*, «Potencial Health Impact of Nanoparticles», *Annu Rev Public Health*, 2009 30: 137-50.

Animales y nanotecnología: algunas implicaciones bioéticas

FABIOLA LEYTON

SUMARIO.—I. INTRODUCCIÓN.—II. CENTRANDO EL DEBATE.—III. NANOTECNOLOGÍA Y USO DE ANIMALES.—IV. PROBLEMAS ÉTICOS DEL USO DE ANIMALES EN LA CIENCIA.—V. ALCANCES BIOÉTICOS DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN CUANTO AL USO DE ANIMALES.—VI. CONCLUSIÓN.—BIBLIOGRAFÍA.

I. INTRODUCCIÓN

La nanociencia y las nanotecnologías están preñadas de promesas para mejorar el mundo, la salud y la vida humana. Pero un matiz opaca estas promesas: riesgos sobre la salud humana, la salud y equilibrio del medio ambiente y las repercusiones en otras formas de vida animal y vegetal.

En lo referido a la ética y su reflexión en este ámbito, con la introducción de la nanotecnología bajo la forma concreta de componentes nanomateriales en productos cosméticos, alimenticios, farmacológicos, médicos, energéticos e informáticos, se abre un nuevo escenario de incertidumbre donde la ética y la legislación tienen mucho que decir, especialmente en cuanto a los riesgos que estos nanomateriales, en sus etapas de investigación y desarrollo, implican para la vida humana y extrahumana.

Una primera precisión importante respecto al estado de la nanociencia y las tecnologías de nanoescala, es que éstas no son novedosas en cuanto a las preguntas que plantean a la ética y la bioética, por cuanto abren las mismas interrogantes que antaño plantearon otras tecnologías (como la ingeniería genética o la biotecnología) cuando irrumpieron en el ámbito de lo humano. A pesar de este hecho, algunos autores como CHITHRANI (2006) sostienen que pareciera abrirse un ámbito nuevo a propósito de las características de la nanotecnología: el análisis de los riesgos de «Medio ambiente, Salud y Seguri-

dad» (EHS por sus siglas en inglés «Environmental, Health and Safety»), que ya existía en otras tecnologías precedentes, pero que bajo las tecnologías de escala nano toma nuevas características en el estudio de los riesgos. Según él «*algunas nanopartículas dañan directamente a los animales y pueden por ello entrar a la cadena alimenticia, causando efectos en la salud humana y ambiental; lo que trae consecuencias desconocidas hasta ahora en el ámbito de la salud humana*»¹. Sin embargo, a mi juicio lo innovador en este ámbito son la nanociencia y las tecnologías de nanoescala, no las preguntas que nos llevan a indagar desde la ética sobre la licitud de las intervenciones realizadas a escala individual o global; ni sobre los valores de estas nuevas intervenciones tecnológicas, que tendrán evidentes consecuencias a nivel de los organismos, las comunidades y la globalidad. Para los autores LIN y ALLHOFF, la nanoética se forma por la convergencia de muchas áreas, y pareciera representar un nuevo pináculo en nuestro entendimiento del mundo que abre nuevas preguntas en torno a la privacidad, el impacto en la salud, el ambiente y la seguridad global, el mejoramiento humano, la longevidad, etc.² Sin embargo, a juicio de los mismos autores «*estos escenarios proveen de una útil plataforma para probar nuestros principios morales, como al menos “ejercicios de pensamiento” comúnmente aceptados como práctica de la ética*»³.

Desde esta postura analizaré lo que implican la nanociencia y las nanotecnologías para la vida de otras especies animales y qué planteamiento debería esgrimirse desde una bioética global, para dar cuenta de la complejidad de su ámbito allende las meras consideraciones antropocéntricas y especistas⁴, que son las que suelen dominar en este tipo de debate.

En este punto, debo definir la nomenclatura a utilizar en este artículo: considerando que hablaré de animales humanos y animales no humanos, me referiré a «animales» y «humanos» de manera diferenciada. Esto no es un juicio de valor, ni una constatación ni valoración ética: es sólo un recurso narrativo a efectos de simplificar la lectura, evitando el engorroso «animal humano» o «animal no humano» a lo largo del desarrollo de este artículo.

1. Citado en LIN, P. y ALLHOFF, F. *et al.*, *Nanoethics: The Ethical and Social Implications of Nanotechnology*, P. xxvi.
2. *Ibid.* P. xxix.
3. *Idem.*
4. El especismo es «un prejuicio o actitud parcial favorable a los intereses de los miembros de nuestra propia especie y en contra de los de otras» (SINGER, Peter, *Liberación Animal*, Ed. Trotta, Madrid, 1999). Años más tarde la lingüista Joan DUNAYER refina el concepto, definiéndolo como «un fracaso, en la actitud o la práctica, por el que ningún ser no humano merece igual consideración y respeto». Para profundizar en el concepto, ver DUNAYER, Joan, *Speciecism*, Ryce Publishing, Derwood, 2004.

II. CENTRANDO EL DEBATE

Aunque las tecnologías nano son nuevas y muchas de sus consecuencias y aplicaciones permanecen aún en terreno desconocido para nosotros, está claro que para enfrentarse a ellas desde la ética debemos hacerlo con herramientas similares con las que analizamos las consecuencias e implicaciones de otras tecnologías en la vida de los humanos, los animales y los ecosistemas. En esta línea, Philip Ball, redactor de ciencias de la revista *Nature*, argumenta: «... sería una distorsión grave y posiblemente peligrosa si la nanotecnología llegara a ser vista como una disciplina que plantea cuestiones éticas y morales sin precedentes»⁵. Un punto de vista similar es expuesto por la UNESCO en su documento «Nanotecnologías y ética. Políticas e iniciativas» (2008) donde expresa: «Aunque las nanotecnologías son nuevas y apasionantes, los problemas que suscitan en el plano de la ética y las políticas no difieren radicalmente de los que tenemos que afrontar actualmente».

Éste es exactamente el caso cuando lo que tratamos es nanotecnología y animales no humanos, es decir, la irrupción de la nanociencia y las tecnologías de nanoescala en la vida y los cuerpos de los animales, sea bajo la forma de investigación con modelos animales para desarrollar productos de consumo humano; o como la transformación de los animales, considerados como unidades de producción económica. Dos planteamientos situados en el mismo dilema ético fundamental que ostenta la ciencia básica y la tecnología experimental: el cuestionamiento del especismo antropocéntrico que es base de la investigación científica.

Este cuestionamiento critica la valoración instrumental de los animales no humanos como medios al servicio de los fines humanos: los animales son modelos experimentales que sirven para medir la toxicidad, la lesividad o la capacidad de los nanomateriales de contaminar los órganos, el torrente sanguíneo u otras partes del cuerpo; así como de modificar el comportamiento o los procesos fisiológicos de los animales expuestos a ellos. Tal como en cualquier tipo de investigación científico-técnica, los animales son «coneji-llos de indias», probetas en los que medir y cuantificar los efectos y daños reales o potenciales de los productos que, finalmente, usarán los humanos en su propio provecho. O, si se da el caso de que se utiliza un modelo animal para investigar los efectos de un nanomaterial para ser usado en los mismos animales, este provecho será siempre, al final del proceso, dirigido a mejorar el bienestar, la salud, el placer o la longevidad de los humanos. Actuar de esta manera es actuar especistamente, esto es, anteponiendo los intereses de

5. *Ibid.* traducción mía.

la propia especie a los intereses más básicos de los otros animales, e independientemente de la capacidad de sufrir que éstos tengan o demuestren. En este contexto especista los animales no humanos son, al mismo tiempo, considerados unidades económicas productivas cuyo mejoramiento podría lograrse a través de la introducción de técnicas de nanoescala en una manipulación depurada para mejorar su rendimiento económico, y con ello, dar más ganancias y provecho a los propietarios.

III. NANOTECNOLOGÍA Y USO DE ANIMALES

La nanotecnología es un ámbito que utiliza animales tanto en la investigación de materiales como en el desarrollo de productos. En la investigación de materiales utiliza animales como modelos experimentales en la investigación toxicológica y otras evaluaciones de riesgo biológico de las nanopartículas o nanomateriales. Por ejemplo, una investigación llevada a cabo con frecuencia es la biodegradabilidad y toxicidad de partículas nano de metales de transición, silicio, carbono, óxidos metálicos o nanocristales. Éstas pueden acumularse en diferentes órganos del cuerpo y producir daño respiratorio, cerebral o trastornos neurológicos o del sistema nervioso central. Es también frecuente el uso de nanopartículas para desarrollar las tecnologías de imagen que permitan producir imágenes de cuerpo entero de animales de tamaño pequeño; como las ratas o ratones que son utilizados como modelos experimentales en la investigación científico-técnica en general. Específicamente, las tecnologías de imagen pueden utilizarse, por ejemplo, para rastrear el tránsito de nanopartículas en el cuerpo del animal que está siendo sujeto de una experimentación farmacológica o de toxicidad química.

En la fase de desarrollo de productos o medicamentos, además de inspirarse en animales con ciertas características especiales (por ejemplo los geckos y su sistema de sujeción y adhesión a diferentes superficies, o las telas de araña por su firmeza), las tecnologías de nanoescala utilizan modelos experimentales animales para desarrollar materiales más resistentes y de propiedades más múltiples y flexibles respecto a los materiales hasta ahora conocidos.

Es también frecuente el uso de nanotecnologías en la producción animal y la industria cárnica, la agricultura, la pesca y la medicina veterinaria, con vistas a mejorar la producción de alimentos y la disposición humana de proteína animal, lo que aumenta y hace más específica aún la consideración de los animales como unidades industriales de producción. En esta área se están desarrollando nanosensores para la identificación y rastreo de animales de compañía, de ganado y de fauna salvaje, en reemplazo de la actual tecnología de microchip. También para el uso cotidiano en la acuicultura, para dispen-

sar tratamiento alimentario o médico a la gran cantidad de peces hacinados en las piscinas de crianza o crecimiento, la limpieza de aguas de las piscinas (con la tecnología «*nanoscheck*» que absorbe fosfatos del agua y previene el crecimiento de algas) o la vacunación masiva por ultrasonido⁶.

Estas aplicaciones tendrían, a su vez, una casi total aplicabilidad en el ámbito humano, toda vez que la vehiculización de medicamentos, la biocompatibilidad de materiales o el desarrollo de modelos de diagnóstico ultra rápido pueden mejorar las técnicas médico-farmacológicas que existen actualmente para aplicación en los humanos.

IV. PROBLEMAS ÉTICOS DEL USO DE ANIMALES POR PARTE DE LA CIENCIA

El antropocentrismo humano promueve el uso de animales como modelos experimentales pues el hombre se adjudica un valor moral superior, que lo autoriza moralmente a servirse de otros seres vivos para conseguir sus propósitos. La ciencia valora a los animales como meros instrumentos al servicio de una causa superior: el conocimiento y la técnica para mejorar la vida y el bienestar humano. Está claro que la práctica científica no es axiológicamente neutral porque toma partido por el ser humano. Esta postura abre una gran pregunta de fondo: si el uso de animales está moralmente legitimado en el caso de la experimentación.

El antropocentrismo de la ciencia es la base de su tratamiento especista con los animales, un trato caracterizado –como mencioné en la introducción del artículo– por el «prejuicio o actitud parcial favorable a los intereses de los miembros de nuestra propia especie y en contra de los de otras»⁷. Para SINGER, la capacidad de experimentar dolor y sufrimiento de los animales no humanos hace que tengan un interés fundamental en no sufrir, análogo al nuestro. Pero la ciencia discrimina al resto de los animales por no ser humanos, ni por manifestar y vivir ese dolor y sufrimiento como lo hace el ser humano, de manera que toma sus vidas como instrumentos: «el especismo

6. «Se añade a los estanques nanocápsulas con secciones de ADN, que son absorbidas por la piel de los peces. Con el ultrasonido las cápsulas se rompen en el interior de los peces, liberando el ADN y provocando una respuesta inmune en los animales. Esta técnica ya fue usada por la compañía *Clear Spring Foods* (Idaho, USA) en la trucha arcoiris. Los científicos de la Academia de Ciencia de Rusia han reportado el crecimiento más rápido de las carpas y esturiones (un 30% y 24% respectivamente), con el uso de nanopartículas de hierro en su alimentación». Fuente: *Down on the Farm: the Impact of Nano-Scale Technologies on Food and Agriculture*, ETC Group Report, noviembre 2004.

7. SINGER, Peter, *Liberación Animal*, Ed. Trotta, Madrid, 1999, p. 42.

humano no admite que el dolor es malo aun cuando lo sienta un cerdo, o una rata o un ser humano»⁸. Este especismo salta a la vista cuando se plantea, por ejemplo, la idea de practicar los experimentos que se hacen en animales sobre personas mental o físicamente discapacitadas: ello genera inmediato rechazo y repulsa moral, que no se manifiesta cuando se trata de un animal no humano. De hecho, afirmando esta preocupación moral, las normas, la jurisprudencia, e incluso, la misma ciencia, han sentado pautas de acción ante la desprotección que millones de personas tuvieron en momentos puntuales de la historia frente a las prácticas y experimentos científicos y médicos⁹. Los animales, sin embargo, por la lógica especista de considerarlos como «meros y simples animales», no despiertan esa protección moral ni activan esos mecanismos de protección legal.

El hombre tiene responsabilidad moral hacia los animales porque es un ser racional, un agente moral que modifica el mundo según una intencionalidad que puede perjudicar o beneficiar a su misma especie o a otras especies, de acuerdo a estos fines. Según las últimas discusiones entre ciencia y ética, existe un consenso bastante generalizado en que la experimentación con animales no puede ser arbitraria ni sujeta a los caprichos del experimentador: los animales son seres sintientes que merecen respeto, por lo que la experimentación debe estar regulada y proteger a los débiles, tal como se hace en la regulación de la experimentación con seres humanos. Eso es lo que establecieron los científicos RUSSELL y BURCH cuando en 1959 publicaron *The Principles of Humane Experimental Technique*, obra en que proponen y desarrollan las hoy canónicas **Tres Erres** de la experimentación, que buscan:

- La **Reducción** del número de animales utilizados en los laboratorios.
- El **Refinamiento** de las técnicas de manipulación e investigación, y
- El **Reemplazo** de los animales en las pruebas experimentales por otras pruebas que no les utilicen.

8. Ibid.

9. Los experimentos y prospecciones biomédicas llevadas a cabo por médicos del régimen nacionalsocialista durante la II Guerra Mundial, o los experimentos de Tuskegee (1932-1972) o la escuela de Willowbrook (1963-1966), que inocularon virus o no medicaron la sífilis que ya tenía cura, para ver en vivo los efectos de la enfermedad sin tratamiento. Todas ellas llevaron a la discusión pública del tema, el enjuiciamiento de los médicos responsables de los estudios y la declaración de sendos cuerpos protocolares para proteger a los seres humanos vulnerables del abuso de la ciencia. Éstos son: la Declaración de los Derechos Humanos (1948), la ley Federal de Derechos Civiles de las Personas Institucionalizadas (1980) y la declaración de Principios éticos y pautas para la protección de los seres humanos en la investigación (Informe Belmont, 1979).

Este planteamiento es el primero de esta naturaleza, emanado desde científicos, para defender el bienestar de los animales en los laboratorios, motivado tanto por los propios animales como por la fiabilidad de los resultados experimentales, y con ello, de los productos científicos y técnicos de que se beneficiarán los humanos.

Si bien las Tres Erres han sido un avance significativo en las condiciones en que viven y mueren los animales en los laboratorios, siguen siendo un reclamo recurrente de los opositores a la experimentación, principalmente por cuanto no cuestiona de fondo la relación humano-animal, sino que se limita a establecer unas condiciones «tranquilizadoras» de apropiación de los animales y experimentación con sus cuerpos. El problema ético de fondo sigue presente, el reclamo de los opositores a la experimentación persiste y se hace público y la comunidad científica se organiza para responder a este reclamo, llegando incluso a hacer llamados a manifestarse masivamente a favor de la experimentación con animales¹⁰.

Las Tres Erres son una solución bienestarista o reformista para el problema ético de la experimentación con animales, y describen una mejora de las condiciones precarias que encierra un laboratorio para un animal: la privación de libertad y hacinamiento de los animalarios y bioterios, la invasividad de las prácticas, el dolor que los procedimientos causan a los animales, la falta de estímulos ambientales, la falta de relaciones sociales con sus pares, etc. Sin embargo, cada una de las tres erres sufre de graves problemas operativos, relacionados ya sea a su financiamiento como a sus posibilidades técnicas, que las hacen quedar como meras declaraciones de buenas intenciones, mientras la situación de los animales en los laboratorios sigue «en la intemperie moral», caracterizándose por su arbitrariedad al no cuestionarse el problema de fondo: la licitud –o no– de apropiarse y disponer de los animales, de su individualidad, de su animalidad y su *télos*, para experimentar con ellos. Y es que este problema no salta a la vista de los científicos a favor de la experimentación, pero ha de decirse que también existen científicos que se oponen a ella por diversas razones metodológicas, científicas, técnicas y morales¹¹.

Una cuestión fundamental para examinar la discriminación especista hacia los animales es el consentimiento de los participantes en una investigación. Si desde que se establecieron los protocolos de investigación, es necesario requerir el consentimiento de un participante en un experimento, cuando se trata de animales no hablamos de consentimiento: simplemente

10. Nature Neuroscience, Editorial núm. 12, 523, 2009.

11. Para obtener información y argumentos ver: <http://www.pcrm.org/resch/>.

los obligamos, apropiándonos de ellos o modificándolos *ex profeso* para servir como modelos experimentales. Pareciera absurdo hablar de «consentimiento de los animales» porque éstos carecen de lenguaje o de un aparato racional que les permita entender el experimento, evaluar la situación y manifestar de manera inteligible su interés (o desinterés) por participar en el experimento. Sin embargo, el filósofo moral Steve SAPONTZIS (1987) considera que en el caso de los animales existe una intención y un interés que reemplaza la verbalidad y la racionalidad del consentimiento en los humanos, porque comúnmente expresan su voluntad vocalizando, gimiendo, chillando, tratando de escapar de la fuente de dolor o sufrimiento, deprimiéndose, automutilándose, etc.¹².

Si los animales son capaces de manifestarse, y esa voluntad está de acuerdo con sus intereses básicos de no sufrir dolor ni situaciones incómodas para su vida animal, estamos frente a una evidente evaluación de la situación y la expresión de una decisión de participar –o no– del experimento. El problema que la ciencia tiene para aceptar esta idea moral es su antropocentrismo: no queremos frustrar nuestras expectativas considerando moralmente a los animales, porque muchos de ellos (por no decir la totalidad) se negarían a participar de experimentos invasivos, incómodos o dolorosos, y por lo tanto, reñidos con sus intereses, que tantos beneficios prometen para el ser humano. En palabras del filósofo Bernard ROLLIN: «*Los dos componentes de la ideología científica –negar la ética en la ciencia y negar los estados mentales– trabajan sinérgicamente en detrimento de los animales de laboratorio y crea enormes barreras para la preocupación ética inherente a la investigación con los animales, y al reconocimiento del dolor y el estrés que a veces causan estos procesos*»¹³.

Abrir la consideración moral hacia los animales ya no vistos como objetos, sino como pacientes morales (respecto a nuestras actuaciones) y como agentes morales (respecto a sus deseos y motivaciones) es abrir la puerta al rechazo moral de la experimentación con animales, y con ello, a la discusión social y al rechazo de las prácticas, los productos y procedimientos que involucran este tipo de violación de los intereses de los animales; y junto con ello, de la investigación nanocientífica y nanotecnológica. Siguiendo esta línea de razonamiento, la experimentación con animales no sería moralmente justificable, pues no hay diferencias morales relevantes que impidan ver a los animales no humanos como sujetos protagonistas de su propia vida, portadores de un *télos* y por ende, factibles de cosificación e instrumentalización moral.

12. SAPONTZIS, S., *Morals, Reason and Animals*, Temple University Press, Philadelphia, 1997, pp. 210-211.

13. *Idem*.

V. ALCANCES BIOÉTICOS DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN CUANTO AL USO DE ANIMALES

Como ya mencioné, si bien las Tres Erres son una herramienta que regula el tratamiento de los animales en los laboratorios, es claramente insuficiente en su teoría y en su práctica porque actúa desde una lógica especista antropocéntrica que no considera los intereses de los animales *per se*, perpetuando su valoración instrumental. En tal dirección, y considerando que las Tres Erres son la única herramienta existente que garantiza unos mínimos a los animales en los laboratorios; la única solución posible sería priorizar y apresurar la práctica obligatoria de la tercera Erre, el Reemplazo de los animales de los laboratorios mediante la promoción de la inversión, la investigación y el desarrollo de métodos alternativos al uso de animales como modelos experimentales.

Sin embargo, el panorama es desolador porque la tendencia actual es la perpetuación de los métodos que usan animales, en vez de promover, al menos, la instauración de las otras dos Erres (Reducción y Refinamiento), con lo que el Reemplazo queda aún más lejos del protagonismo en este complejo escenario ético-legislativo.

Actualmente no solamente se carece de los medios técnicos para poder refinar técnicas que permitan reemplazar a los animales de los laboratorios, sino que además esta medida se prevé muy lejos de su éxito porque falta un elemento básico: financiamiento y proyectos de investigación que exploren sus límites y posibilidades. El marco legal también es deficiente, si bien existen regulaciones ejemplares que van sacando a los primates de los laboratorios y aplicando restricciones a la labor científica a través de la redefinición conceptual de los sujetos experimentales, de las metodologías o las categorías del dolor. En el contexto de la Unión Europea, se van estableciendo gradualmente regulaciones europeas, estatales (como Reino Unido, Alemania, Suiza) y protocolos para Comités de Ética y Comités de Experimentación Animal que recogen las recomendaciones de científicos y de organizaciones promotoras de los derechos animales.

En concordancia, varias asociaciones en defensa de los animales se manifiestan no sólo contra la experimentación científica en general, sino particularmente contra la investigación de las nanotecnologías por sus consecuencias para la salud humana, animal y ambiental. Para el caso de la investigación médica, diagnóstico, prevención y tratamiento, el uso de nanomateriales se debe considerar caso por caso, con la evaluación riesgo/beneficio pertinente que promueva el uso de las pruebas sin animales. Sin embargo, para todo el resto de investigaciones, especialmente si se trata de

productos no esenciales (aplicaciones no médicas como cosméticos, productos para el hogar, químicos, etc.) la Sociedad Holandesa para la Sustitución de Ensayos con Animales (*Proefdierverij*) propone que los nanomateriales sean prohibidos y que se promueva el desarrollo de métodos y modelos que no utilizan animales para la investigación, como los métodos *in vitro* que ya se han desarrollado en campos relacionados y parecen ser aplicables a la nanotecnología¹⁴.

La misma entidad considera que para el ámbito de investigación biomédica, los datos de las investigaciones disponibles sobre nanopartículas recogidas a través de la experimentación con animales deben ser compartidos por las empresas, a fin de evitar la duplicación de esas pruebas. Sin embargo, el sistema «Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas» (REACH) de la UE ha especificado todo lo contrario, priorizando el secretismo de los laboratorios por encima de una medida de transparencia que permitiría la reducción del número de animales.

La nanotecnología ofrece grandes oportunidades para desarrollar métodos que no utilicen animales, para atender esta demanda ética y garantizar la seguridad de los pacientes y consumidores. De acuerdo a la misma organización holandesa: *«para lograr esto, la primera prioridad es validar las pruebas de detección, que no afecten a animales de laboratorio. Debido a que las pruebas de toxicidad de nanopartículas aún están en fase de desarrollo, los científicos deben centrarse en los métodos que no impliquen animales. La cooperación entre los expertos en nanotecnología y los toxicólogos, por ejemplo, les permite conocer mejor los posibles efectos perjudiciales de las nanoestructuras en una fase temprana»*.

Otras organizaciones proponen el uso del principio de precaución como único curso de acción posible para la UE, y la prohibición de los nanomateriales de todos los productos no esenciales para reducir la exposición de la población a un daño potencial. Sin embargo, la búsqueda frenética de mayor evidencia científica que corrobore o permita ponderar los riesgos constituye un interesante fenómeno conocido como «el modelo del nuevo déficit» que conduce a una inoperable «parálisis por análisis»¹⁵. Por otro lado, autores de

14. «Las pruebas *in vitro* son ideales porque pueden revelar los efectos biológicos a nivel celular, donde los nanomateriales son más propensos a ser activos. La vanguardia en la microscopía, genómica de células humanas, pruebas de absorción de la piel humana, cámaras de la matriz y el dispositivo de Hμ REL con su multi-cámaras microchip son prometedores en los métodos *in vitro*. Ensayos alternativos también están siendo desarrollados por la UE, financiando los proyectos del Centro Común de Investigación, como Nanotox». Para más información visitar www.proefdierverij.nl/english/fund.
15. Según este análisis, «en el debate sobre los impactos potenciales de la nanotecnología en la salud, la seguridad y el medio ambiente, hay una creencia común que

la talla de Cass SUNSTEIN critican fuertemente el principio de precaución como un principio inconducente y paralizador por dos motivos: no estipula el grado de precaución adecuado o correcto para actuar, pero tampoco exige regulaciones de ningún tipo. Es más: en algunos casos, la regulación estricta va contra el principio de precaución, pues podría privar a la sociedad de importantes beneficios, o producir serios daños que, de lo contrario, no tendrían que ocurrir. Se da lugar a riesgos sustitutos, en la forma de peligros que se materializan o aumentan como resultado de la regulación¹⁶.

Frente a la parálisis del principio de precaución, y el estimulante panorama que ofrecen los beneficios reales y potenciales de la nanociencia y la nanotecnología, un eje de importancia fundamental es la participación de la sociedad en el debate sobre la experimentación con animales, ámbito de innegable prioridad en el marco de una democracia deliberativa en la sociedad globalizada. Aquí la libertad de información opera en dos direcciones: abrir tanto la ciencia y sus beneficios a conocimiento y escrutinio público, como también desvelar a la sociedad la manera en que se producen los servicios y los productos que ellos compran para aliviar los trabajos de su vida o mejorar su bienestar. El conocimiento es un bien para la sociedad que paga sus impuestos y que se beneficia, en mayor o menor medida, de una relación hombre-animal que hasta ahora ha sido abusiva y especistamente etnocéntrica; pero que cada vez encuentra más voces abogando por una ciencia y una técnica más éticas, pero no por eso menos confiables.

La consideración moral de los animales, la discusión social de los alcances morales de la experimentación con animales y la redefinición de la relación hombre-animal es un imperativo en el diálogo entre Ciencia y Sociedad. Existe un problema de la ciencia y de la relación del hombre con la naturaleza y otros seres vivos que ya ha sido definido, que ha demarcado un ámbito de preocupación moral y que cambiará gradualmente la manera de pensar el mundo y de actuar en su modificación. En este cambio se requiere la participación de todos, en un diálogo que sólo es posible cuando la ciudadanía es informada sobre la ciencia, sus alcances y consecuencias. Comenzar a hablar de responsabilidad y ética en la ciencia es integrar tópicos de importancia creciente a nivel social, como lo es el dolor, la invasividad de los procedimientos o la legitimidad de según qué métodos experimentales, para alcan-

necesitamos simplemente "hechos científicos" de su impacto toxicológico y ambiental para remover todas las incertidumbres y permitir una evaluación del riesgo comprehensiva». BROWN, Simon, «The New Deficit Model», Comentario en *Nature Biotechnology*, Vol. 4, oct. 2009.

16. SUNSTEIN, Cass, *Leyes de miedo. Más allá del principio de precaución*, Katz Ed., Madrid, 2009.

zar consensos que determinen lo deseable para todos. Esto además, es de gran utilidad para establecer una ética cívica consensuada, aceptada por todos los sectores de la sociedad, buscando a través de la honestidad intelectual la eticidad de los medios con los que conseguimos estándares de bienestar para todos los seres capaces de disfrutarlo.

Como destacaba el filósofo catalán Josep FERRATER MORA respecto a la igualdad de los seres vivos: «El problema de la igualdad humana se amplía, convirtiéndose en lo que podría llamarse “igualdad sintiente”. Cuando se abandona el especismo y se admiten los titulados “derechos de los animales” en tanto que derechos de todos los seres sintientes. Importantes modificaciones en el concepto de igualdad, así como en el de justicia, pueden resultar de semejante ampliación, pero es dudoso que eso lleve a la tesis de la desigualdad: más bien refuerza la tesis de la igualdad»¹⁷.

VI. CONCLUSIONES

La evolución moral de la sociedad es un proceso activo, dinámico y polimórfico. Uno de los temas más polémicos en este crisol de contenidos morales, que desata racionalidades y pasiones es el de la experimentación con animales. En ella, los abolicionistas atacan a los investigadores por causar sufrimiento a los animales, y los científicos responden calificándoles de primitivistas por renegar de las bondades y progresos que la ciencia –y la técnica– prodigan a la sociedad. La justificación de los científicos descansa en un paradigma ideológico antropocéntrico de la «superioridad moral» de los humanos sobre los animales, lo que justificaría su sacrificio para beneficio de los humanos. Esta presuposición es fallida, porque el único sentido en que según el paradigma antropocéntrico los humanos son «superiores» a los animales –la razón– no es suficiente para justificar la explotación y abandono moral al que son sometidos los animales no humanos.

Para el caso de la experimentación con animales –y con ello, la práctica de la nanociencia y la nanotecnología– la investigación debiera regirse por los mismos parámetros y principios que rigen para los sujetos humanos: protección del débil frente al fuerte, consideración de la capacidad de los animales para situarse en el contexto de las pruebas y experimentos, y la consideración de sus necesidades más básicas y fundamentales. Un avance sin duda es el ejecutado por las Tres Erres, pero no resultan suficientes para garantizar el respeto por los intereses de los animales no humanos. Se requiere de una ciencia y de una técnica verdaderamente responsables que, sin faltar a su

17. Voz «Igualdad humana», en el *Diccionario de Filosofía* del mismo autor.

eficiencia y efectividad en la producción de bienes y servicios para los seres humanos, sean capaces de trascender la práctica actual sacando definitivamente a los animales no humanos de sus pruebas.

La bioética tiene una importante labor al respecto, pues se sitúa en un vértice de convergencia entre la ciencia, la técnica, el derecho, la ética y la sociedad. Una parte de la bioética más amplia, concebida como una bioética global que considera la importancia de todos los seres vivos y procura el respeto de sus derechos fundamentales. Porque la agencia moral de los humanos implica responsabilidad para con los animales, no una licencia para explotarlos de manera humanitaria.

BIBLIOGRAFÍA

- BROWN, Simon, «The New Deficit Model», en *Nature Biotechnology*, Vol. 4, oct. 2009.
- DUNAYER, Joan, *Speciesism*, Ryce Publishing, Derwood, 2004.
- Editorial, *Nature Neuroscience*, núm. 12, 523, 2009.
- ETC GROUP REPORT, *Down on the Farm: the Impact of Nano-Scale Technologies on Food and Agriculture*, noviembre 2004.
- FERRATER MORA, Josep, *Diccionario de Filosofía*, Ed. Ariel, Barcelona, 1994.
- LIN, P., ALLHOFF, F., MOORE, J. y WECKHERT, J., *Nanoethics: The Ethical and Social Implications of Nanotechnology*, Ed. John Wiley & Sons, New Jersey, 2007.
- SAPONTZIS, S., *Morals, Reason and Animals*, Temple University Press, Philadelphia, 1997.
- SINGER, Peter, *Liberación Animal*, Ed. Trotta, Madrid, 1999, 2ª edición.
- SUNSTEIN, Cass, *Leyes de miedo. Más allá del principio de precaución*, Katz Ed. Madrid, 2009.
- UNESCO, *Informe Nanotecnologías y ética: políticas e iniciativas*, Comisión mundial de Ética del Conocimiento Científico y la Tecnología, París, 2008.

Sobre la toxicidad de las nanopartículas en el ámbito de la nanomedicina

LYDIA BUISAN ESPELETA

SUMARIO.—I. LA TOXICIDAD EN EL ÁMBITO DE LA NANOMEDICINA.—II. RIESGOS Y BIOMEDICINA.—III. TOXICIDAD POTENCIAL DE LAS NANOPARTÍCULAS SOBRE LA SALUD.—IV. NANOPARTÍCULAS Y PATENTES.—V. CONCLUSIONES.

Hasta hace relativamente poco la nanomedicina constituía un territorio aún por explorar, pero 2009 ha sido un año de avances que, en forma de comunicados científicos en congresos y seminarios, así como en las noticias de los medios de comunicación, parecen evidenciar un enfoque consolidado en el sistema sanitario y en la industria farmacéutica que va a dominar en los tratamientos y prácticas médicas de los próximos años.

Para comprender cómo las nanopartículas y los nanocomponentes con ellas fabricados actúan en el interior de la célula puede ser muy útil la metáfora que el científico vasco Javier AIZPURÚA utilizó, en febrero de 2009, en San Sebastián, en una ponencia que presentó en el Simposio de la Sociedad Vasca de Cuidados Paliativos. AIZPURÚA compara una célula típica de un tejido, que tiene un tamaño de mil nanómetros, con una gran casa en la que diversos aparatos y personas tienen diversos cometidos con la finalidad de que la casa funcione normalmente (metabolismo celular) cualquiera que sea la función de cada componente. El funcionamiento del metabolismo celular es extremadamente complejo e interrelacionado, basado en unos códigos muy herméticos que controlan en última instancia todos los procesos y las respuestas, tanto frente a invasiones externas como a fallos internos de la «casa» (célula). La nanotecnología puede ayudar a mejorar las soluciones para los problemas externos e internos de la «gran casa celular» llevando «operarios» (nanocomponentes) que puedan acceder al interior de la célula y resolver el problema *in situ*. En unos casos el problema es simple y requiere por tanto soluciones simples, pero con frecuencia el problema puede ser

más grave, por lo que la acción del nano-operario puede requerir soluciones drásticas, como la autodestrucción de la «casa», para que el entorno siga existiendo. En nanotecnología, es el tamaño diminuto de estos operarios (nano-operarios) lo que permite que se introduzcan en la «casa celular» y desarrollen su trabajo en el interior de la misma. Cualquier otro operario de tamaño mayor que el de la «casa celular» no podría acceder al interior de la misma¹.

La aplicación de las nanopartículas en medicina será determinante en el futuro inmediato de la sanidad, pues abre un gran abanico de posibilidades marcando nuevas y prometedoras tendencias en las que los investigadores de nuestro país tienen un destacado papel. Por citar algunas de esas posibilidades:

1. En el campo del diagnóstico molecular y el pronóstico de enfermedades, con el objetivo de diagnosticarlas en sus fases iniciales y dar prontamente respuesta a las mismas.
2. En el desarrollo de «terapias inteligentes», como los implantes subcutáneos para liberación de fármacos de forma controlada; o como chips proteómicos para proteínas y péptidos en algunos tipos de cáncer, que identifican la relación entre la respuesta a los tratamientos *versus* la progresión de la enfermedad neoplásica mediante la monitorización de los perfiles de concentración de proteínas específicas, así como la fabricación de nanopartículas magnéticas para tratar la hipertermia.
3. En terapia celular, permitiendo ampliar el horizonte actual en el tratamiento o eliminación de células cancerosas con mínimos efectos secundarios o para la destrucción de parásitos intracelulares.
4. En ingeniería de tejidos, mediante la cual conseguir, como objetivo final, la producción de tejidos y órganos a escala industrial con una relación coste/beneficio asumible.
5. En regeneración tisular, cuyo objetivo es el desarrollo de biomateriales inteligentes que reaccionen positivamente a los cambios de su entorno liberando de forma controlada principios activos capaces de estimular cambios regenerativos específicos a nivel tisular y promoviendo el potencial autorregenerativo de las propias células del paciente.

1. AIZPURÚA, J., «Utilización de nanopartículas metálicas en el tratamiento de cánceres localizados», en *Manejo del Cáncer en Atención Primaria*, Editorial SOVPAL, San Sebastián, 2009.

6. En la obtención de implantes específicos, adaptados a la anatomía de cada paciente, que mejoren su integración y eviten infecciones y rechazos porque sean capaces de liberar fármacos ante cambios en la estructura y en la aparición de bacterias.

7. En terapia génica, o bien cambiando un gen defectuoso o bien evitando que la proteína del gen defectuoso se exprese, como ocurre por ejemplo en la fibrosis quística.

8. En la prevención de enfermedades la producción de vacunas en sistemas no inyectables.

9. Ampliación de las expectativas de los procedimientos diagnósticos tanto *in vivo* como *in vitro* facilitando la identificación de enfermedades o su predisposición a nivel celular o molecular mediante la utilización de nanodispositivos.

De las técnicas de fibroscopia actuales mediante fibra óptica (endoscopias del tubo digestivo mediante cámaras que captan imágenes y que son transmitidas por radiofrecuencia) a la endoscopia del futuro, en el que se desarrollarán sistemas más complejos, propulsivos, con biosensores de pH, que permitan hacer biopsias de cualquier trayecto intestinal, etc.²

10. Nanocontrastes para el diagnóstico por imágenes mediante resonancia magnética, consiguiendo mejoras en el diagnóstico y el estadiaje de tumores, con lo que podrán realizarse tratamientos «a la carta» en el caso de pacientes oncológicos.

Como puede observarse, las aplicaciones de las nanopartículas marcarán, sin duda, un antes y un después de su aplicación en el campo biosanitario.

Entrando en el campo de la farmacología, el futuro inmediato está en los nuevos sistemas de liberación de fármacos en las «terapias inteligentes» o Nanosistemas Terapéuticos. La utilización de fármacos antitumorales (que son todos citotóxicos) vehiculizados mediante nanopartículas pueden ser dirigidos exclusivamente a las células diana (*target*) o a los tejidos tumorales, produciendo la respuesta terapéutica esperada sin afectar a los tejidos sanos. Las nanopartículas transportadoras de fármacos ofrecen, pues, la posibilidad de mejorar la seguridad y la eficacia de numerosos fármacos, consiguiendo así la disminución de los efectos tóxicos que se producen con la tradicional administración de fármacos antitumorales. La posibilidad de que las nano-

2. SAMITIER, J., «La nanomedicina: nuevas tecnologías aplicadas al diagnóstico y la terapia Física y Sociedad», *Revista del Colegio Oficial de Física*, núm. 20 diciembre 2009, p. 44.

partículas transportadoras de fármacos atraviesen barreras celulares, como la barrera hematoencefálica o la piel, puede ser una gran ventaja, pues se podrán ampliar las vías de administración de muchos fármacos, pasando de su administración por vía parenteral a otras presentaciones farmacológicas, fabricadas con nanopartículas, más fáciles de administrar y más económicas (teniendo en cuenta la relación coste/beneficio).

Algunas nanopartículas tienen las mismas dimensiones que determinadas moléculas de nuestro organismo, por lo que pueden fácilmente interactuar con ellas, desplazarse dentro del organismo a través de la sangre, entrar en órganos como el corazón o el hígado y atravesar barreras celulares como la barrera hematoencefálica o la placentaria, pero también atravesar membranas celulares e introducirse en el interior de las células para destruirlas, como se ha mencionado antes, en el tratamiento de cánceres localizados.

De acuerdo con lo que se acaba de exponer, las nanopartículas con fines terapéuticos presentan dos posibilidades:

a) Nanopartículas como sistema liberador de fármacos. En este caso, la membrana de la célula enferma actúa como barrera y en el interior de la célula hay múltiples dianas terapéuticas, por lo que es preciso buscar estrategias para superar estas membranas celulares y liberar de este modo el fármaco en el interior de las células tumorales. Las nanociencias deben aportar la selectividad del fármaco a estas células cancerosas con menor dosis de citostático y, en consecuencia, con menores efectos secundarios porque no se verán afectadas las células sanas. Veamos algunos ejemplos:

– nanopartículas de albúmina que en su interior contienen *taxol* (Abraxane), quimioterápico antitumoral aprobado en España para su utilización en el cáncer de mama metastático. Este compuesto ha tenido una regulación legal más laxa, pues no existe actualmente tratamiento en esta fase de la enfermedad.

– desarrollo de nanovectores capaces de transportar fármacos antimaláricos eficientes al interior del eritrocito infectado por el plasmodio, consiguiendo de este modo su destrucción, algo que con las actuales presentaciones farmacéuticas de administración de estos fármacos no se puede conseguir. El plasmodio se esconde dentro de una vacuola del hematíe y no deja ninguna señal en la superficie del mismo, por lo que se puede diseñar la liberación dirigida del fármaco con nanopartículas transportadoras del antimalárico. ¿Cómo actuarían? En una primera fase estas nanopartículas que transportan el fármaco antimalárico se acoplan a la superficie del hematíe y, en una segunda fase, atraviesan la membrana del mismo destruyendo el

plasmodio en su interior por la acción del antimalárico. Estos nanovectores tienen que ser adaptables (es decir, que si el antimalárico elegido no funciona se pueda cambiar por otro) y versátiles, porque, en teoría, podrían ser utilizados ante cualquier parásito intracelular y no sólo ante el plasmodio de la malaria.

b) Utilización de nanopartículas como agente terapéutico en sí mismo, como ocurre con las nanopartículas inorgánicas o metálicas. Por ejemplo, nanopartículas para terapias con hipertermia magnética: como las células cancerosas son muy sensibles a temperaturas superiores a 37 grados, se trata de realizar, desde el exterior del organismo, un calentamiento intracelular de estas células de forma nanoscópica, mediante un campo magnético que actúa sobre las nanopartículas que previamente se han administrado por vía endovenosa. Las nanopartículas absorben la energía del campo y destruyen la estructura celular por calentamiento³. Por ejemplo:

– las nanopartículas pueden utilizarse como contraste en la realización de resonancias magnéticas (se trata de un coloide de Fe_3O_4 , aprobado por la FDA norteamericana).

– utilización de nanopartículas de oro para disgregar agregados amiloides, lo cual podría estar indicado en el tratamiento de enfermedades en las que se encuentran agregados amiloides, como el Alzheimer (péptidos de 2 aminoácidos), Parkinson, Diabetes Melitus tipo II, entre otras.

Como resultado de estas posibilidades se ha propuesto la siguiente definición de *nanomedicina*: prácticas médicas para la prevención, el diagnóstico y/o el tratamiento de distintas enfermedades, que requieren tecnologías basadas en las interacciones entre el cuerpo humano con materiales, estructuras y dispositivos cuyas propiedades se definen a escala nanométrica⁴.

Ahora bien, ante los retos que la nanotecnología ofrece a la medicina, las consideraciones que la bioética aporta a una práctica médica responsable, obligan a tener en cuenta una serie de factores relativos a la salud y el ambiente, entre los que cabe destacar:

3. GOYA, G. F., *Nanopartículas para terapia. Hipertermia con fluidos magnéticos*. Conferencia impartida en Els Juliols de la UB, 2008.
GOYA, G. F., GRAZU, V. e IBARRA, M. R., *Nanopartículas magnéticas para el tratamiento oncológico*, Current Nanoscience 4 (1): 1-16 febrero 2008.
4. SAMITIER, J., *Nanobiología y Nanomedicina* www.phantom.net/Resources/files/nanobiologia_alta.pdf.

I. LA TOXICIDAD EN EL ÁMBITO DE LA NANOMEDICINA

De todo este amplísimo y prometedor campo de futuro que nos ofrecen las posibles indicaciones de las nanopartículas en nanomedicina, las lagunas de conocimiento que sobre su toxicidad todavía existen llevan a que los riesgos no sean suficientemente conocidos. Además, los riesgos para la salud que pueden comportar las nanopartículas serán distintos en cada fase del proceso: investigación, producción, utilización terapéutica, y eliminación/acumulación en el organismo y en el medioambiente.

¿Cuáles son las nanopartículas potencialmente nocivas para la salud y para el medioambiente? De entrada podemos decir que serán potencialmente más nocivas para la salud aquellas nanopartículas que, una vez introducidas en nuestro organismo a través de cualquier vía –oral, inhalatoria, piel y mucosas–, aunque sean biocompatibles no son biodegradables, o que sólo lo son en parte y, por lo tanto, no se eliminan o se eliminan parcialmente. Si estas nanopartículas no se eliminan, quedarán depositadas en algún lugar del organismo produciéndose su acumulación en el mismo. Esta acumulación de nanopartículas puede no ser inocua, tanto a corto, como a medio o largo plazo. De la dosis depende la toxicidad y se ha detectado presencia de nanopartículas después de su administración endovenosa durante dos años, pero las que se inhalan y los macrófagos las digieren tienen una permanencia más larga, por lo que habrá que estudiar la exposición a las nanopartículas hasta que éstas puedan producir efectos nocivos. Lo que con ello se pretende es evaluar en el tiempo las nanopartículas y, si son tóxicas, abandonar su utilización, teniendo en cuenta, además, que aunque la toxicidad sea directamente proporcional a la cantidad de nanopartículas que ingresen en un organismo (actualmente los investigadores están de acuerdo que su superficie también tiene que tenerse en cuenta) también lo será el lugar de este organismo en que éstas se depositen y acumulen, pues no será lo mismo que las nanopartículas se depositen en el cerebro o en la dermis⁵.

Actualmente, lo único que podemos afirmar es que los efectos de la no eliminación de nanopartículas no-biodegradables no son conocidos. Constatamos, pues, que en estos momentos hay poca información acerca de la seguridad de los nanomateriales no-biodegradables utilizados en medicina. Conocemos muy bien que el hierro es tóxico y que su acumulación en el

5. PUNTES, V. *Potencial toxicidad de las nanopartículas*, www.dipna.net/home.php.
PUNTES, V. SALDAÑA, J., *Nanotechnology: balancing the promises*, Edit. nanowiki.info ebook, 2009.
«La toxicidad bajo nanovigilancia», *H-DT info Revista de la investigación europea*.

organismo produce enfermedades como la hemocromatosis y la hemosiderosis; y que el amianto y el asbesto también lo son. ¿Podría ocurrir con las nanopartículas inertes algo parecido a lo que ocurre con estos materiales?

Debido a la preocupación real que existe, especialmente entre los investigadores, sobre la seguridad de los nanomateriales, en los últimos meses han proliferado proyectos de investigación que lideran o en los que participan científicos de nuestras universidades a fin de evaluar la toxicidad de las nanopartículas y sus efectos sobre la salud, proyectos que en su mayor parte son auspiciados por la Unión Europea, que dedica a esta cuestión bastante más recursos que los EUA. En esta línea, cabe destacar, entre otros, los siguientes:

- Proyecto NANORETOX (2008-2012), cuyo objetivo principal es intentar clarificar las incertidumbres científicas relacionadas con los efectos sobre la salud y el ambiente producidos por la producción de las nanopartículas metálicas y proporcionar un corpus de nueva información y un nuevo instrumento que pueda ser usado por la industria y los gobiernos para empezar a evaluar los riesgos de los nanomateriales.
- Proyecto EUSATOX, dedicado al estudio de la relación entre la estructura física de las nanopartículas y su toxicidad, con el objetivo de crear un modelo global que pueda predecir cómo las nanopartículas interactúan con el medio ambiente.
- Proyecto HINAMOX, que es un proyecto de 3 años a partir de octubre de 2009 y que analizará la toxicidad de las nanopartículas de óxidos metálicos y sus posibles efectos sobre la salud.
- Proyecto NANOCLEAN (UAB), dedicado a desarrollar un test de toxicidad para distintos organismos, a distintas concentraciones y para varias nanopartículas.

II. RIESGOS Y BIOMEDICINA

Se debe tener siempre presente que el riesgo es consustancial al ejercicio de la medicina, pero también está presente en los avances biomédicos, pues no hay avances sin riesgos. Por otra parte, el ejercicio profesional en biomedicina siempre se desarrolla con criterios de probabilidad y no con criterios de certeza; los diagnósticos diferenciales concluyen, como orientación diagnóstica, la que se presenta como más probable atendiendo a los parámetros de que se dispone. La valoración de lo acertado o no de dicha orientación, siempre es *a posteriori*, a la vista de los resultados o de las consecuencias. La experiencia previa sirve únicamente como referencia ante un caso parecido,

ya que dos pacientes no son en absoluto iguales aunque padezcan la misma enfermedad.

El riesgo tiene un peso específico muy importante en la toma de decisiones en el ámbito de la salud. En cualquier procedimiento diagnóstico o terapéutico siempre se debe valorar la relación riesgo-beneficio, no sólo desde el punto de vista de lo que puede ofrecer la medicina en un caso clínico concreto, sino también desde los valores o intereses del paciente según éste quiera definirlos, con la finalidad de llegar, conjuntamente el médico y el paciente, a una decisión consensuada entre ambos.

Los profesionales sanitarios están acostumbrados a manejar procedimientos diagnósticos y terapéuticos en los que el riesgo siempre está presente, a prescribir fármacos con una larga lista de interacciones, con efectos secundarios adversos o indeseables, a instaurar tratamientos que tanto el paciente como el médico saben que no son inocuos. Así pues, si se pretende tratar una enfermedad con un fármaco eficaz pero que puede tener por ejemplo efectos adversos conocidos sobre el hígado, se debe controlar la función hepática a lo largo del tratamiento a fin de intentar minimizar estos riesgos. Pero la mayoría de estos efectos adversos son ya conocidos, aunque continuamente aparecen otros nuevos especialmente cuando interaccionan con otros medicamentos.

Con las nanopartículas, al ser sus características fisicoquímicas diferentes de las que los mismos compuestos presentan en su tamaño clásico, su toxicidad puede variar precisamente en función de la escala. Así, materiales que en su tamaño habitual o macro no se consideraban tóxicos porque no podían atravesar barreras celulares o alterar la estabilidad de las membranas celulares, podría ocurrir que en su forma *nano* llegaran a serlo y pudieran, además, atravesar las barreras celulares penetrando de este modo en el interior de la célula. Es este tipo específico de toxicidad lo que se tiene que investigar: valga como ejemplo que el elemento plata en su forma *nano* es 45 veces más tóxica que su toxicidad conocida a escala convencional y, no obstante, se están ya utilizando nanopartículas de plata⁶.

La Agencia de Protección Ambiental norteamericana (EPA) considera que durante la producción, uso y/o disposición, las nanopartículas llegan al

6. RIBERO, S., investigadora del Grupo ETC, aporta, como dato significativo, que en noviembre de 2006 la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) anunció que el uso de nanopartículas de plata debe ser regulado porque pueden conllevar daños ambientales. Actualmente estas nanopartículas se comercializan como desinfectantes antibacterianos, eliminación del olor del calzado, purificadores del aire, refrigeradores, contenedores de alimentos y lavadoras, entre otros. Véase: www.etcgroup.org.

ambiente, cursos de agua... y pueden llegar a matar organismos benéficos, así como entrar en cadenas alimentarias, con efectos impredecibles para la salud, por lo que es necesario que las nanopartículas entren en el mercado tras el pertinente debate social, en la misma línea de lo que propone la Declaración sobre Bioética y derechos Humanos de la UNESCO (2005) en su art. 18⁷.

Poco conocemos todavía sobre esta toxicidad, aunque se está investigando al respecto desde distintos ámbitos. Mientras no haya resultados significativos, probablemente lo que se debería hacer es una valoración objetiva de los riesgos por analogía con la experiencia acumulada con materiales microscópicos producidos por la termo-degeneración de la materia orgánica. En las cenizas se encuentran nanopartículas y nanotubos, el hollín contiene nanopartículas de carbono 60, las fibras de amianto son parecidas a los nanotubos de carbono por lo que podrían ser igualmente peligrosos si son inhalados en cantidades suficientes. Todas estas nanopartículas, si ingresan en el organismo por inhalación, se depositarán en los pulmones produciendo inflamaciones pulmonares pudiendo también desplazarse a otros órganos como el hígado o el corazón. Las nanopartículas que se inhalan, son fagocitadas por los macrófagos, permaneciendo en el organismo a menudo más de dos años. Habrá que estudiar la exposición a nanopartículas en distintas concentraciones hasta estudiar cual sea la posibilidad de que produzcan cualquier patología y poder determinar, así, un margen de seguridad.

III. TOXICIDAD POTENCIAL DE LAS NANOPARTÍCULAS SOBRE LA SALUD

1. *En la fase de elaboración y producción:* es la fase que tiene más estudios y guías de prevención de riesgos para la salud de los trabajadores⁸.

7. Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos UNESCO 2005:
Art. 18 «Adopción de decisiones y tratamiento de las cuestiones bioéticas.
1. Se debería promover el profesionalismo, la honestidad, la integridad y la transparencia en la adopción de decisiones, en particular las declaraciones de todos los conflictos de interés y el aprovechamiento compartido de conocimientos. Se debería procurar utilizar los mejores conocimientos y métodos científicos disponibles para tratar y examinar periódicamente las cuestiones de bioética.
2. Se debería entablar un diálogo permanente entre las personas y los profesionales interesados y la sociedad en su conjunto.
3. Se debería promover las posibilidades de un debate público pluralista e informado, en el que se expresen todas las opiniones pertinentes».
8. Véase el Capítulo de Ruth JIMÉNEZ SAAVEDRA, *Nanotecnologías: seguridad y salud laboral* en esta misma obra.

- Toxicidad por nanopartículas si éstas son metálicas y por lo tanto no biodegradables. La FDA ha aprobado la utilización del óxido de hierro (Fe_3O_4) como agente de contraste en las resonancias magnéticas. Pero ¿cuál es el límite máximo de resonancias magnéticas con contraste de nanopartículas que se pueden realizar en una misma persona sin riesgo de efectos no deseados?
- Toxicidad por los agentes agregantes que se utilizan en su síntesis.

En la síntesis de nanopartículas se utilizan agentes agregantes que tienen elevada toxicidad, generándose residuos que irán a parar al medioambiente.

Por ejemplo, el proyecto de investigación *in vitro* sobre la sinapsis inmunológica entre el virus VIH con las células del sistema inmune, en el que se estudia la organización espacio-tiempo y el proceso de unión y captación del VIH, procesos que se producen a nanoescala. Este estudio tiene gran importancia para evitar la internalización del virus dentro de los linfocitos bloqueando los receptores específicos que están estudiando. Se utilizan nanopartículas de oro o de plástico, que deben sintetizarse agregando moléculas de oro y otros materiales enormemente tóxicos, por lo que en este proceso se generan residuos altamente tóxicos que irán a parar al medioambiente. En este proyecto de investigación existen dos niveles de trabajo distintos que, a su vez, requieren distinta protección para minimizar la toxicidad de las nanopartículas estudiadas:

- a) En la síntesis de nanopartículas: éste es el nivel realmente peligroso y requiere un alto grado de protección mediante uniformes especiales, escafandras, protocolos de emergencia a causa del uso de los agentes agregantes, etc.
- b) En la utilización de las nanopartículas a mínimas concentraciones para la investigación, nivel que sólo requiere que las personas que intervienen en la manipulación adopten una protección básica. La piel actúa como filtro a escala micrométrica, pero a escala *nano*, las partículas pueden atravesar la piel sin problemas.

2. En la fase de utilización o aplicación:

- Toxicidad potencial de las nanopartículas

Como se ha expuesto anteriormente, las nanopartículas son potencialmente tóxicas porque pueden afectar a las células comprometiendo la estabilidad de las membranas celulares o distorsionar el sistema inmunológico cuando son inhaladas o ingeridas y, además, debido precisamente a su pequeño tamaño, pueden atravesar barreras celulares –como la barrera hema-

toencefálica— alcanzando zonas del organismo a las que no llegan partículas mayores que ellas. Esta enorme ventaja puede ser asimismo su gran inconveniente.

La vía transdérmica es poco conocida actualmente. No se ha demostrado ni descartado, la capacidad de penetración de las nanopartículas a través de la piel sana o en la piel afectada (por ejemplo, por psoriasis o después de una quemadura solar o cualquier otra patología dérmica).

Tampoco se conoce cómo afectan las nanopartículas tras su ingesta porque está en fase de estudio. En cambio sí se conoce bien en caso de que se inhalen. Hay nanopartículas (nanotubos de carbono) que tienen una estructura similar a otros materiales como las fibras de amianto, del que se conoce perfectamente su acumulación en los pulmones tras inhalaciones repetidas, que producen alteraciones patológicas importantes. Actualmente está prohibida la utilización de amianto y sus residuos están controlados.

- Entre las nanopartículas con posibilidad de ser utilizadas en medicina merecen destacarse:

* Nanopartículas transportadoras de fármacos que ofrecen grandes posibilidades de mejorar la seguridad y eficacia de numerosos fármacos: nanopartículas poliméricas, liposomas⁹ y micelas poliméricas.

* Nanotecnología ultrasónica: permite ver en el interior de las células, lo cual favorecerá una mejor comprensión de la estructura y función celular. Para ello es necesario un nanotransductor que produzca ultrasonidos.

* Nanotubos de platino, cien veces más delgados que el cabello humano: se pueden introducir en las venas y llegar hasta cualquier parte del cerebro sin afectar al flujo normal de la sangre o a los intercambios gaseosos. Servirán para medir la actividad eléctrica de una célula nerviosa, lo que permitirá un conocimiento más exhaustivo del funcionamiento del cerebro en comparación con otras tecnologías utilizadas actualmente, como la tomografía por emisión de positrones (PET) o la resonancia magnética nuclear (RNM). Tienen el inconveniente de que no son biodegradables.

* Nanopolímeros conductores susceptibles de ser guiados por campos eléctricos a través del sistema circulatorio cerebral. Son 20 ó 30 veces más pequeños que los nanotubos de platino y además son biodegradables.

9. Los *Liposomas* son partículas coloidales formadas espontáneamente por la hidratación de lípidos naturales. Los liposomas pegilados producen toxicidad en la palma de las manos y en la piel por lo que podrían tener aplicación en dermatología en el tratamiento del sarcoma de Kaposi.

3. *En la fase de eliminación:*

Una vez introducidas en el organismo nanopartículas no-biodegradables entramos de lleno en el terreno de las incertidumbres por su posibilidad de atravesar barreras orgánicas como las barreras celulares, antes difícilmente franqueables por materiales inertes, y que, además, no serían rechazadas por el sistema inmunitario. Esta misma causa –no ser rechazadas por el sistema inmunológico porque éste no las detecta– constituye por sí mismo un problema, ya que no está claro qué sucede con estas pequeñas partículas en el organismo una vez han cumplido su misión. Las nanopartículas inorgánicas no son biodegradables y las que son biodegradables pueden serlo total o parcialmente. Pero si los macrófagos las fagocitan pueden llegar a permanecer largo tiempo en su interior. Se desconoce si existen o no sustancias que tengan un efecto quelante de las nanopartículas no-biodegradables (que contengan metales como oro, hierro, etc.) para facilitar su eliminación del organismo y que, a su vez, no sean tóxicas por sí mismas o por el compuesto derivado de la quelación.

IV. NANOPARTÍCULAS Y PATENTES

En opinión de quien esto escribe, el interés económico implícito en el tema de las patentes de las nanopartículas es lo que dificultará enormemente la transmisión del conocimiento para proteger productos o materiales a escala *nano* patentables y, en consecuencia, la cantidad y la calidad de información que llegue a la población general sobre nanotecnología difícilmente ocurrirá que alcance los mínimos exigibles, que sea transparente y que no esté mediatizada por razones alejadas del interés social. Pero la magnitud económica que las patentes de nanopartículas conllevan obstaculiza en grado sumo la transferencia del conocimiento entre distintos investigadores. Y si entre ellos existe poca comunicación, mucho más difícil es que haya voluntad de transferencia de la información conocida por los investigadores acerca de los riesgos reales o potenciales de las nanopartículas a la población para que pueda haber un debate social informado.

Para que este tipo de debate exista, se hace necesaria una nueva regulación sobre las patentes en el ámbito de la nanotecnología, en la que prime el interés social –es decir, que prime la salud de la población y el medioambiente– sobre los intereses económicos de las multinacionales en un mundo globalizado. Aquí radica, pues, el auténtico obstáculo para la reflexión honesta alrededor de las nanopartículas y las nanotecnologías, obstáculo difícil o imposible de superar si no se producen cambios sustanciales en la estructura económica mundial.

V. CONCLUSIONES

Cuanta mayor información se tenga acerca de los riesgos de las nanopartículas, los profesionales sanitarios y los pacientes podrán tomar decisiones en el ámbito de la salud con mayor conocimiento de causa, asumiendo el balance riesgo-beneficio cuando se aconseje o se acuerde seguir un procedimiento diagnóstico o terapéutico en el que intervengan nanopartículas, de la misma manera que se hace actualmente con todos los procedimientos diagnósticos y terapéuticos implementados y que tienen la aceptación de la comunidad científica.

En mi opinión, la actitud ética ante la aplicación de los avances científicos en el campo de la nanomedicina no debería distinguirse de la actitud que los profesionales sanitarios han venido adoptando hasta la actualidad, aprendiendo de los éxitos y los fracasos y mejorando lo exitoso y aparcando o rechazando lo nocivo. Muchos de estos fracasos se deben a riesgos desconocidos o que, si se conocían, fueron erróneamente infravalorados o minimizados. Si se trataba de riesgos imposibles de conocer según el estado de la ciencia en cada momento, estos eran impredecibles, pero si fueron infravalorados o despreciados por el motivo que fuera, en este caso fue un error asumirlos.

La seguridad en el ámbito biomédico debe basarse en la gestión positiva de los errores, empleándose los mayores esfuerzos en determinar porqué han ocurrido, analizándolo detalladamente para que no se vuelva a repetir. Se trata de poner más énfasis en desgajar a fondo el porqué del error que determinar quién es el responsable del mismo.

Por otra parte, es especialmente relevante resaltar que la aplicación de las nanopartículas no es exclusiva del ámbito biomédico sino que tiene una posible aplicación en muchos campos, incidiendo de esta manera en la salud y en el medioambiente de forma transversal. Esta transversalidad en su aplicación puede ser otro factor de riesgo nada despreciable.

En la práctica, la evaluación de los riesgos potenciales relacionados con las nanotecnologías requiere que la evaluación del riesgo se integre en todas las fases del ciclo de vida de los productos basados en la nanotecnología.

Constituye un prerequisite para la elaboración de directrices sobre la evaluación del riesgo de las nanopartículas y, en especial, en el ámbito de su utilización biomédica, que se tenga conocimiento y se informe verazmente del comportamiento de las nanopartículas en el organismo humano y en el medio ambiente, así como todo lo concerniente a la utilización transversal de las nanopartículas.

Nanotecnologías y alimentación humana: implicaciones bioéticas

ITZIAR DE LECUONA

SUMARIO.—I. PLANTEAMIENTO.—II. NANOCIENCIAS, NANOTECNOLOGÍAS, NANOMATERIALES, NANOPARTÍCULAS... LA DIFICULTAD PARA DEFINIR LO QUE NO SE VE: LA ESCALA NANO.—III. APLICACIONES DERIVADAS DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN ALIMENTACIÓN HUMANA: BENEFICIOS Y RIESGOS.—IV. MARCO NORMATIVO DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN ALIMENTACIÓN HUMANA.—V. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN NANOTECNOLOGÍAS Y PRINCIPIO DE RESPONSABILIDAD SOCIAL Y SALUD RECONOCIDO EN LA DECLARACIÓN UNIVERSAL SOBRE BIOÉTICA Y DERECHOS HUMANOS DE LA UNESCO.—BIBLIOGRAFÍA.

I. PLANTEAMIENTO

En Cataluña se concentra el mayor número de grupos de investigación en nanotecnologías del Estado español¹. Sólo en la provincia de Barcelona se hallan radicados el *Institut de Nanociència y Nanotecnologia* de la Universitat de Barcelona, el *Institut Català de Nanotecnologia* de la Universitat Autònoma de Barcelona y el *Centre d'Investigació en Nanociència i Nanotecnologia CIN2*. Se oye decir que las nanotecnologías son el futuro, que constituyen la siguiente revolución, un cambio de paradigma. Que están a la vuelta de la esquina y, efectivamente lo están, porque el primero de los centros citados se encuentra a una manzana del *Parc Científic de Barcelona* (PCB), donde el *Observatori de Bioètica i Dret*, de la Universitat de Barcelona² del que formo parte, tiene su

1. Véase FUNDACIÓ CATALANA PER A LA RECERCA I LA INNOVACIÓ (FRCI), *Informe Científic per a la Presa de Decisions. Nanotecnologia: què es i com ens afectarà?*, 2009. Disponible en formato pdf en www.frci.cat.
2. El *Observatori de Bioètica i Dret UB* (OBD), centro de investigación de la Universitat de Barcelona, extiende una concepción de la bioética pluridisciplinaria, global y flexible enmarcada en los Derechos Humanos internacionalmente reconocidos. El OBD acoge al Grup de Recerca Consolidat «Bioètica, Dret i Societat» de la Generalitat de Catalunya que despliega su actividad mediante proyectos de investigación financiados por convocatorias públicas en los ámbitos de investigación, docencia, divulgación y

sede y ha coordinado –en colaboración con el Área de Comunicación de la Ciencia y el Laboratorio de Nanobioingeniería del *Institut de Bioenginyeria de Catalunya*, también situados en el PCB– una exposición itinerante bajo el título «La nanotecnología a debate»³. Con la intención de participar en el diálogo universidad-sociedad⁴, la exposición invita a reflexionar sobre las implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías y se enmarca en el mismo proyecto de investigación⁵ que el presente libro. La referencia al contenido de esta muestra interactiva permite avanzar cuestiones a las que también se hace referencia en este capítulo como son: los beneficios y riesgos de estas nuevas tecnologías; qué mecanismos de evaluación y control son necesarios en términos de seguridad y protección de salud humana, animal y medioambiental; si existe regulación específica sobre nanotecnología; la brecha norte-sur y la necesaria participación pública en la toma de decisiones sobre ciencia y tecnología previo debate social informado⁶.

Para alguien como yo, licenciada en derecho y con un máster en Bioética y Derecho por la Universitat de Barcelona –orientado al tratamiento de los problemas que plantea el progreso científico y tecnológico y las consecuencias de sus aplicaciones desde una perspectiva interdisciplinar–, a la dificultad que implica adentrarse en un territorio tan nuevo, la(s) nanotecnología(s), que se intuye complejo⁷, se añade el presentimiento de que ya es tarde, en parte porque ya se están comercializando productos «nanotecnológicos»⁸. Y

comunicación con los poderes públicos. *La Càtedra UNESCO de Bioètica de la UB*, bajo el paraguas del OBD, transfiere la experiencia adquirida en estos ámbitos especialmente a los países en desarrollo.

3. Más información sobre la exposición «Dret i Ciència. La nanotecnología a debat: Més petit que petit» disponible en: www.bioeticayderecho.ub.es/exponano. Véase también NANOYOU (www.nanoyou.eu). Proyecto financiado por el 7º Programa Marco de la Comisión Europea para acercar las nanotecnologías al público más joven proporcionando información y herramientas para participar en el debate sobre los aspectos éticos, legales y sociales de estas nuevas tecnologías. También dispone de un apartado para docentes.
4. Uno de los objetivos del *Observatori de Bioètica i Dret*, a través de la publicación de documentos de opinión, es incidir en el diálogo universidad-sociedad mediante la transmisión del conocimiento científico-técnico y los argumentos necesarios para participar en un debate social verdaderamente informado sobre temas de actualidad en los que no existe una opinión unánime. Véase www.bioeticayderecho.ub.es/documentos.
5. Proyecto de Investigación «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías». Ministerio de Ciencia e Innovación. Referencia: SEJ 2007 61210/JURI. Investigadora Principal: Dra. María CASADO. Duración: 2007-2010.
6. Véase BUXÓ, M. J., «Dialogar la nanoética», *Revista de Bioética y Derecho*, núm. 12, 2008, p. 1 a 4.
7. La primera dificultad se encuentra en la definición de nanotecnología(s) pues no existe acuerdo al respecto. Véase el apartado II del presente capítulo.
8. En parte porque se habla al mismo tiempo de investigaciones «nano» y de productos

porque, ¿no eran las implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las biotecnologías el objeto de nuestra atención? sobre las que se podía escribir largo y tendido. El futuro ¿no era lo bio? Parece que ahora ya no, o al menos no sólo «bio» sino «bio-nano». Ante tal tesitura, una opción consiste en olvidarse del asunto y esperar al siguiente prefijo de moda. Una alternativa, concluir que los dilemas, miedos y esperanzas sobre las biotecnologías, su regulación y gobernanza internacional y los mecanismos de evaluación, gestión y comunicación de los riesgos ya existentes son extrapolables a las nanotecnologías. Finalmente, se puede intentar una aproximación a esas implicaciones –que posiblemente conduzca a la anterior conclusión–, tomando como referencia uno de los sectores en los que las aplicaciones nanotecnológicas ya han irrumpido: la alimentación humana, materializándose por ejemplo en la producción y comercialización de «nanoalimentos» y «nanoenvases»⁹ (o en la promesa de los mismos) por parte de la industria alimentaria, con importantes repercusiones para la salud y seguridad humana, animal y medioambiental. Es posible que, en muchos casos, se trate de una operación de marketing porque el sello «nano» (que no etiquetado), como todavía sucede con lo «bio», vende bien. En cualquier caso, la referencia «nano» desde finales de siglo XX resulta familiar en el ámbito investigador, industrial y comercial.

El planteamiento del presente capítulo: nanotecnologías y alimentación humana encuentra su justificación en que imparto la asignatura Deontología¹⁰ en los estudios universitarios de Nutrición Humana y Dietética de la Universitat de Barcelona¹¹. La reflexión sobre las consecuencias de las aplicaciones resultantes del desarrollo de las nanotecnologías en alimentación humana desde una perspectiva bioética¹² se presenta como ineludible en la

«nano» ya en el mercado. El *Informe Científic per a la Presa de Decisions. Nanotecnologia: què es i com ens afectarà?* de la FUNDACIÓ CATALANA PER A LA RECERCA I LA INNOVACIÓ (FRCI) señala que existen más de 800 productos que utilizan nanotecnología registrados. La página web del *Project on Emerging Nanotechnologies* de *Woodrow Wilson International Center for Scholars* <http://www.nanotechproject.org/inventories> permite encontrar ejemplos por sectores. Nótese que se trata de un registro voluntario que requiere verificación.

9. Específicamente en el ámbito de la alimentación humana el inventario disponible en <http://www.nanotechproject.org/inventories> muestra envases y productos que contienen nanopartículas de plata con efecto antibacteriano.
10. Imparto la asignatura como Profesora Asociada del Departamento de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universitat de Barcelona. El plan docente de la asignatura se encuentra disponible en <http://www.ub.edu/farmacia/queoferim/index/grau.htm>.
11. La Diplomatura en Nutrición Humana y Dietética se imparte en la Universitat de Barcelona desde 1998.
12. Entendiendo la bioética como disciplina que reflexiona sobre las implicaciones éticas, jurídicas y sociales de las nuevas tecnologías y los problemas biomédicos y que toma como referencia el marco ético-jurídico que proporcionan los derechos humanos internacionalmente reconocidos.

profesión sanitaria de dietista-nutricionista¹³. Un colectivo que en el ejercicio profesional y desde distintos ámbitos¹⁴ –con mayor o menor intensidad–, ha tenido y tiene que enfrentarse a los dilemas que plantean los organismos modificados genéticamente o transgénicos –uno de los exponentes del «siglo de la biotecnología»¹⁵– y a la negativa percepción pública que han tenido pese a ser los alimentos más evaluados de la historia¹⁶. Y recientemente, se ocupa de los alimentos funcionales¹⁷, los cuales alteran, entre otras cuestiones, la concepción tradicional de la dieta¹⁸. Mientras que sobre los transgénicos y los alimentos funcionales existe legislación específica¹⁹, sobre aquellos derivados de las nanotecnologías persiste la decisión de no desarrollar una normativa concreta²⁰. Lo dicho no significa que no exista un marco regulato-

13. Reconocida por la *Ley 44/2003, de 21 de noviembre, de Ordenación de las Profesiones Sanitarias*, art. 2 (BOE núm. 280 de 22 de noviembre de 2003, p. 41442 a 41458).
14. Véase *Perfil de las Competencias del Titulado Universitario en Nutrición Humana y Dietética*, Documento de consenso elaborado por la Conferencia de Consenso constituida por representantes de la Universidades Españolas que imparten la titulación y la Asociación Española de Dietistas-Nutricionistas, febrero de 2003. Disponible en www.acd-n.cat/archivos/Perfilprofesional.pdf.
15. Parafraseando el título del libro de Jeremy RIFKIN *El siglo de la biotecnología, el comercio genético y el nacimiento de un nuevo mundo feliz*, (Paidós, Barcelona, 2009). Como señala el autor, los genes se convierten en el «oro verde» (p. 69).
16. Véase COMITÉ ASesor DE ÉTICA EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA, *Informe/Organismos modificados genéticamente en la agricultura y en la alimentación*, FECYT. Disponible en <http://www.fecyt.es> y PUIGDOMÈNECH, P. «Las modificaciones genéticas de las plantas que comemos», *Revista Humanitas*, núm. 39, 2009. Disponible en http://www.fundacionmhm.org/www_humanitas_es_numero39/revista.html.
17. «Los alimentos funcionales definidos como aquellos que, además de satisfacer las necesidades nutricionales básicas, proporcionan beneficios para la salud o reducen el riesgo de sufrir enfermedades», FECYT, *Informe/Alimentos funcionales*, pág. 7. Disponible en <http://www.fecyt.es>.
18. ALEMANY, M., «Dietética (bioética, deontología en nutrición humana y dietética)», *Revista de Bioética y Derecho* núm. 9, 2007, p. 3.
19. Sobre organismos modificados genéticamente: *Directiva 2001/18/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de marzo de 2001, sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente y por la que se deroga la Directiva 90/220/CEE del Consejo* (DO L 106, de 17 de abril de 2001, p. 1 a 39); *Reglamento (CE) núm. 1830/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2003, relativo a la trazabilidad y al etiquetado de organismos modificados genéticamente y a la trazabilidad de los alimentos y piensos producidos a partir de éstos, y por el que se modifica la Directiva 2001/18/CE* (DO L 268, de 18 de octubre de 2003, p. 24 a 28); *Reglamento (CE) núm. 1829/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2003, sobre alimentos y piensos modificados genéticamente* (DO L 268, de 18 de octubre de 2003, p. 1 a 23). Sobre alimentos funcionales véase el *Reglamento (CE) 1924/2006, de 20 de diciembre de 2006, del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos* (DO L 404, de 30 de diciembre de 2006, p. 9 a 25).
20. Véase el apartado IV del presente capítulo.

rio general que permita el desarrollo y comercialización de este tipo de alimentos, bebidas y envasado, o lo limite. Tampoco significa que el consumidor y, antes, el que fabrica o manipula no esté expuesto a riesgos²¹. Todo ello conduce a analizar los efectos de las aplicaciones nanotecnológicas en la alimentación humana desde la perspectiva de la salud y la seguridad alimentaria, en la que son centrales la evaluación, gestión y comunicación de los riesgos²² que las nuevas tecnologías pueden causar y que la sociedad está dispuesta a asumir en situación de incerteza científica.

La reflexión sobre las implicaciones bioéticas de las nanotecnologías en el ámbito de la alimentación humana, permite reivindicar aquí, como ha hecho el Profesor Macario ALEMANY, la relevancia de la asignatura deontología en los estudios de nutrición humana y dietética²³. Asimismo coincido con el autor en que los problemas morales relacionados con la alimentación humana son también problemas bioéticos²⁴ y que es necesario aportar pautas para el abordaje de los mismos. Su propuesta parte de una clasificación de los problemas que afectan al ejercicio de la profesión en dos categorías principales: en primer lugar, la libertad de producir y distribuir alimentos y, en segundo lugar, la libertad de consumir alimentos y sus respectivas restricciones. Mi intención es abundar sobre algunos de los temas que integran el primer grupo, en concreto: la seguridad alimentaria y la aplicación de las biotecnologías, a lo que añado «y la aplicación de las nanotecnologías». En el último apartado del presente capítulo, –desde el principio de responsabilidad social y salud²⁵ vinculado a la investigación y desarrollo de las nanotecnologías–, trataré también otro de los temas a los que hace referencia como es el hambre en el mundo, en relación al acceso a una alimentación y agua adecuadas y la reducción de la pobreza.

21. Desde la prevención de riesgos laborales véase NAROCKI, C., «Las partículas nanométricas y la salud laboral», en RIECHMANN, J. (Coord.), *Nanomundos, multiconflictos, Una aproximación a las nanotecnologías*, Icaria, 2009, p. 33 a 54.
22. Véase RODRÍGUEZ FONT, M., *Régimen jurídico de la seguridad alimentaria. De la policía administrativa a las gestión de los riesgos*, Marcial Pons, Madrid, 2007.
23. ALEMANY, M., «Dietética (bioética y deontología en nutrición humana y dietética)», *Revista de Bioética y Derecho*, núm. 9, 2007, p. 1.
24. «La nutrición humana y dietética forma parte del conjunto de profesiones sanitarias. No nos debe extrañar que, por tanto, haya una estrecha conexión entre la deontología de esta profesión y la bioética. La mayoría de los problemas morales más relevantes para dietistas-nutricionistas son también problemas tratados en el ámbito de la bioética», ALEMANY, M., «Dietética (bioética y deontología en nutrición humana y dietética)», *op. cit.*, p. 7.
25. Principio contenido en la *Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos* de la UNESCO. Aprobada por aclamación por la 33ª sesión de la Conferencia General de la UNESCO, el 19 de octubre de 2005.

El binomio seguridad alimentaria-aplicación de las nanotecnologías requiere conocer el marco normativo aplicable y analizar aquellos textos de referencia que puedan aportar luz y argumentos en los que basar reflexiones y decisiones derivadas del desarrollo y uso de estas nuevas tecnologías. Recordemos que la libre circulación de mercancías²⁶ en el mercado interior de la Unión Europea es una libertad fundamental que puede encontrar restricciones a su ejercicio cuando afecte a la salud de los consumidores y/o produzca un impacto negativo en el medioambiente. Y que la seguridad alimentaria no puede ser objeto de tratamiento aislado por parte de los Estados²⁷. Es por ello que se propone el análisis desde la perspectiva del Derecho de la Unión Europea cuya herramienta por excelencia es el principio de precaución. Un principio en el que –en situación de incertidumbre científica– basar decisiones con carácter excepcional²⁸, proporcionadas y no discriminatorias ante potenciales riesgos para la salud humana o medioambiental que persiguen alcanzar el elevado nivel de protección de la salud como objetivo político fundamental de la Unión Europea.

II. NANOCIENCIAS, NANOTECNOLOGÍAS, NANOMATERIALES, NANOPARTÍCULAS... LA DIFICULTAD PARA DEFINIR LO QUE NO SE VE: LA ESCALA NANO

La definición de nanociencia y nanotecnología no es una cuestión pacífica, actualmente objeto de debate internacional: desde su base científica y sus propiedades hasta su construcción jurídica²⁹. Organizaciones y organismos internacionales³⁰ trabajan en consensuar un significado para los nano-

26. Artículo 26 Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (antiguo 14 TCE).
27. Ejemplos como la crisis de las vacas locas (Encefalopatía Espongiforme Bovina) así lo evidencian. En este sentido véase RODRÍGUEZ FONT, M., *Régimen jurídico de la seguridad alimentaria. De la policía administrativa a la gestión de riesgos*, op. cit., p. 103 a 109.
28. Véase ESTEVE PARDO, J., «Ciencia y derecho ante los riesgos para la salud. Evaluación, decisión y gestión», *Documentación Administrativa*, 265-266, 2003, p. 137 a 149.
29. Véase *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo sobre aspectos reglamentarios de los nanomateriales*, COM (2008) 366 final, de 17 de junio de 2008.
30. Véase Working Party on Nanotechnology de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) www.oecd.org/sti/nano; International Organisation for Standardization (ISO), TC 229 Nanotechnologies http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=381983. La Unión Europea coordina sus actividades con OCDE e ISO. Véase también COMEST, *Nanotechnologies and Ethics. Policies and actions*, UNESCO, Paris, 2007. Disponible en <http://www.unesco.org/shs/ethics>; UNESCO, *Ética y política de la nanotecnología*, 2007 Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001459/145951s.pdf>.

materiales³¹ que permita, entre otras cuestiones, una adecuada evaluación y gestión de los riesgos que la escala nano puede provocar en la salud humana, animal y en el medio ambiente. Cuestión de primer orden para el tema que nos ocupa, la alimentación humana. La falta de consenso en el ámbito las definiciones, causado por la limitada información científica de la que se dispone, dificulta extraordinariamente la correcta aplicación de la normativa existente. Asimismo obstaculiza el desarrollo, en su caso, de una regulación más atinada que permita el adecuado tratamiento de los riesgos actuales y emergentes derivados de la aplicaciones nanotecnológicas.

Según el diccionario de la Real Academia Española se entiende por nanotecnología la «tecnología de los materiales y de las estructuras en la que el orden de magnitud se mide en nanómetros, con aplicación a la física, la química y la biología». Caracterizan a la nanotecnología su dimensión interdisciplinar, pues se refiere a varias ciencias y tecnologías³², y su aplicación multisectorial. Desde la electrónica, hasta la industria textil o militar, la biomedicina o el ámbito de la energía. Puede converger asimismo con otras tecnologías como la biotecnología y las tecnologías de la información. La confluencia de todas ellas con las ciencias cognitivas plantea un nuevo campo de estudio a nanoescala conocido como *nano-bio-info-cogno* encaminado hacia el perfeccionamiento humano³³.

31. Tal como indica la Resolución del Parlamento Europeo, de 24 de abril de 2009, sobre los aspectos reglamentarios de los nanomateriales (INI/2008/2208) «considerando que el actual debate sobre los nanomateriales se caracteriza por una carencia importante de conocimiento e información, lo que entraña desacuerdos que empiezan ya con las definiciones, por ejemplo: a) respecto del tamaño: indicación aproximada del tamaño (“del orden de 100 nm o menos”) frente a un intervalo específico de tamaños (“entre 1 y 100 nm”) b) respecto de sus propiedades diferentes o nuevas: propiedades diferentes o nuevas debidas a los efectos del tamaño, incluidos el número de partículas, la estructura de la superficie y la actividad de la superficie como criterio independiente frente a la utilización de tales propiedades como un criterio adicional para definir los nanomateriales c) respecto de propiedades problemáticas: limitación de la definición de nanomateriales a determinadas propiedades (por ejemplo, insolubilidad o persistencia) o no hacer uso de tales limitaciones» (Considerando F); «Considerando que en la actualidad no se dispone de un conjunto plenamente desarrollado de definiciones armonizadas, si bien están disponibles o en fase de elaboración toda una serie de normas internacionales que definen “nanoescala” como “con una o más dimensiones del orden de 100 nm o menos” y que generalmente distinguen entre: – “nanoobjetos”, definidos como “partes discretas de materiales que tengan una, dos o tres dimensiones externas en la nanoescala”, es decir, los materiales constituidos por objetos aislados de muy pequeñas dimensiones; – “materiales nanoestructurados”, definidos como materiales “con una estructura interna o superficial en la nanoescala” como, por ejemplo, con cavidades de dimensiones reducidas» (Considerando G).

32. COMEST, *Nanotechnologies and Ethics. Policies and Actions*, UNESCO, París, 2007.

33. Véase *Ética y política de la nanotecnología*, UNESCO, 2007, y CREMADES, A., «Aspectos

En investigación, la definición más sencilla y general de nanotecnología es aquella realizada a nanoescala (a una milmillonésima parte de un metro)³⁴. La Unión Europea, prefiere hacer referencia a investigación en nanociencias y nanotecnologías que «entendida en su sentido más amplio, abarca todas las actividades de investigación relacionadas con la materia a escala nanométrica (1 a 100 nm). Incluye todos los nanoobjetos³⁵ artificiales tanto fabricados a propósito como generados involuntariamente/.../Incluye actividades de investigación comprendidas entre la investigación más básica y la aplicada, el desarrollo tecnológico y la investigación preformativa y conformativa que fundamenta el asesoramiento científico, las normas y reglamentos»³⁶. Queda patente la dificultad para distinguir entre ciencia y tecnología cuando el objeto es *nano*. Asimismo se observa como las organizaciones internacionales que tratan de aportar definiciones demuestran su interés por superar la línea divisoria entre ciencias y humanidades³⁷. Existe un consenso generalizado en que el tratamiento de las nanotecnologías debe realizarse de forma interdisciplinar y que los aspectos éticos, legales y sociales acompañan necesariamente a los conocimientos de base científica³⁸.

El término nanotecnología se refiere, en muchas ocasiones, indistintamente a investigación básica y aplicada. La *Royal Society*³⁹, en cambio, distingue entre nanociencia y nanotecnología. La primera, nanociencia, se ocupa del estudio y la manipulación de partículas a nanoescala. Sobre la segunda, recomienda utilizar el término nanotecnologías en plural porque se refiere a muchas y diversas tecnologías y herramientas, que, la mayoría de las veces,

básicos y aplicaciones de las nanotecnologías», en RIECHMANN, J. (Coord.), *Nanomundos multiconflictos*, op. cit., p. 17 a 32.

34. UNESCO, *Ética y política de la nanotecnología*, 2007, p. 7.

35. «En ausencia de una terminología internacional reconocida, se utiliza el término genérico “nanoobjeto” para designar los productos resultantes de la investigación en N+N. Incluye las nanopartículas y su agregación a escalas nanométricas, los nanosistemas, los nanomateriales, los materiales nanoestructurados, y los nanoproducidos» *Recomendación de la Comisión sobre un código de conducta para una investigación responsable en el campo de las nanociencias y nanotecnologías*, C (2008) 424 final, de 7 febrero de 2008.

36. *Recomendación de la Comisión sobre un código de conducta para una investigación responsable en el campo de las nanociencias y nanotecnologías*, C (2008) 424 final, de 7 febrero de 2008.

37. COMEST, *Nanotechnologies and Ethics. Policies and actions*, UNESCO, Paris, 2007, p. 5.

38. Véase por ejemplo la *Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, y al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo: Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009. Primer informe de aplicación 2005-2007*, COM (2007) 505, de 6 de septiembre de 2007.

39. Véase sitio web de la Royal Society sobre nanociencia y nanotecnología <http://royalsociety.org/Nanoscience-and-Nanotechnology/>.

no tienen mucho en común. Las nanotecnologías se centrarían en la concepción, caracterización y construcción de estructuras aparatos y sistemas a escala nano⁴⁰.

A escala nano (atómica y molecular), los materiales se comportan de forma diferente, sus propiedades cambian, y el interés radica en observar y manipular esta posibilidad. Un ejemplo son los nanotubos de carbono, de los que se dice que son el material más fuerte, y más flexible con una elevada conductividad térmica y eléctrica⁴¹. Como contrapartida, han sido comparados, en cuanto a sus efectos tóxicos con el asbesto⁴².

III. APLICACIONES DERIVADAS DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN ALIMENTACIÓN HUMANA: BENEFICIOS Y RIESGOS

Nanopotenciadores del sabor en el procesamiento de alimentos; nanopartículas para evitar la absorción de oxígeno en el envasado; nanocápsulas para controlar la estabilidad de los nutrientes, en el ámbito de los suplementos alimenticios y nanosensores para detectar enfermedades en plantas y animales en agricultura...⁴³; secuenciación de genomas y metagenomas empleando nanomateriales⁴⁴ para ampliar conocimientos sobre la fisiología

40. UNESCO, *Ética y política de la nanotecnología*, París, 2007.

41. Véase UNESCO, *Ética y política de la nanotecnología*, París, 2007, p. 10.

42. Véase la noticia «Carbon Nanotubes That Look Like Asbestos, Behave Like Asbestos», en *The Project on Emerging Nanotechnologies* (<http://www.nanotechproject.org/news/archive/mwcnt/>) en referencia al artículo publicado en *Nature nanotechnology* sobre la peligrosidad de determinadas formas de nanotubos de carbono que al ser inhaladas en cantidades suficientes pueden provocar efectos negativos en la salud humana como ocurrió con el asbesto. POLAND, C. A. *et. al.*, «Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study», *Nature Nanotechnology* 3, 2008, p. 423 a 428 doi:10.1038/nnano.2008.111. Véase también UNESCO, *Ética y política de la nanotecnología*, París, 2007, p. 3.

43. Éstos y otros ejemplos en la noticia «La UE da vía libre al empleo de nanopartículas en los alimentos» publicada por El País (edición nacional) el 14 de febrero de 2008. Recientemente, el diario La Nación, de 12 de abril de 2010, en su noticia «Desarrollan un nanoinsecticida para plagas» señala que «por primera vez, lograron fabricar pequeñísimas partículas de óxido de aluminio que deshidratarían a los insectos dañinos». Véase también CHAU, *et. al.*, «The development of regulations for food nanotechnology», *Trends in food Science & Technology*, núm. 18, 2007, p. 271 y ALLHOFF, F. y LIN, P. (Eds.), *Nanotechnology & Society: Current and emerging ethical issues*, Springer, Netherlands, 2009.

44. Una publicación reciente del CSIC da cuenta de la «pirosecuenciación», una nueva técnica de secuenciación que emplea nanomateriales que permite la secuenciación de genomas de forma masiva en menos tiempo y a un menor coste que con las técnicas actuales. Señala que esta nueva técnica «va a revolucionar en la secuenciación de genomas, pero también de los llamados metagenomas, es decir, la secuenciación de DNA extraído de un ecosistema, de forma que a partir de los datos de

humana y su relación con la alimentación. Pensemos también en el tratamiento y la depuración de aguas mediante nanotecnología. Éstos son algunos ejemplos de aplicaciones de estas nuevas tecnologías en alimentación humana, y, también, de las promesas que contienen.

Gran parte de las expectativas en el ámbito de la alimentación humana están puestas en la producción y comercialización de envases fabricados con nanomateriales, se trabaja en la mejora de los materiales en contacto con los alimentos. Las nanotecnologías también van a ser útiles para controlar la frescura y la calidad de los alimentos y para optimizar su trazabilidad reduciendo en su seguridad. Asimismo, parece que va a ser posible modificar propiedades de alimentos y bebidas como su textura o sabor y el contenido de grasa y nutrientes. Éstas y otras cuestiones han sido tratadas por el Comité Científico de la Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria⁴⁵, a instancia de la Comisión Europea, en su *Opinión*⁴⁶ sobre los potenciales riesgos de la nanociencia y las nanotecnologías en relación la seguridad en la alimentación y los piensos.

Adoptada el 10 de febrero de 2009, no tiene como objetivo servir para una evaluación de los riesgos, sino como una opinión general que se refiere a los nanomateriales artificiales o manufacturados, sus aplicaciones y posible impacto cuando son introducidos deliberadamente en la cadena alimentaria. Desde materiales en contacto con los alimentos, ingredientes y aditivos hasta fertilizantes y pesticidas usados en alimentación y piensos. Destaca la falta de información que actualmente existe sobre nanomateriales manufacturados, sobre su caracterización, detección y medida en alimentos y piensos. Hace especial referencia a la publicidad engañosa que puede existir en el mercado de productos «nano» no sólo en el ámbito de la salud humana. No se conoce cuántos productos derivados de las nanotecnologías se comercializan, pero

secuencia es posible inferir los organismos presentes en ese nicho ecológico». La publicación anuncia ya algunos resultados derivados de esta nueva técnica que según señala «permitirá conocer nuevos aspectos de nuestra fisiología y su relación con la alimentación». LÓPEZ FANDIÑO, R., MEDINA MÉNDEZ, I., *La alimentación en el siglo XXI*, CSIC-Catarata, Madrid, 2009, p. 133 a 134.

45. La Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria es un organismo independiente creado por el *Reglamento 178/2002, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria y se fijan los procedimientos relativos a la seguridad alimentaria* (DO L 31, de 1 de febrero de 2002, p. 1 a 24) que tiene un doble objetivo: prestar asesoramiento científico y una comunicación clara sobre los riesgos existentes y emergentes en el ámbito de la alimentación.
46. «Scientific Opinion on the Scientific Committee on a request from the European Commission on the Potential Risks Arising from Nanotechnologies on Food and Feed Safety», *The EFSA Journal*, núm. 958, 2009, p. 1 a 39.

tampoco cuánto de «nano» tienen los que dicen serlo y si se ha utilizado nanotecnología en aquellos sobre los que no se informa al respecto.

Los riesgos para la salud humana y el medio ambiente⁴⁷ son objeto de investigación actualmente. Los nanomateriales pueden ser dañinos al ser inhalados o absorbidos, también porque pueden atravesar membranas y células de forma desconocida hasta el momento, tampoco se tienen datos sobre sus efectos en el tracto intestinal. Es preciso investigar las consecuencias de la exposición en humanos y animales, puesto que el impacto en ambos parece ser similar, así como en el medio ambiente. Se requieren estudios de toxicidad y ecotoxicidad y resulta fundamental conocer las características físico-químicas de los nanomateriales.

Para el Comité Científico de la Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria, el paradigma de evaluación de riesgos⁴⁸ es aplicable a los nanomateriales artificiales, si bien reconoce que éstos tienen propiedades específicas que deben ser objeto de una investigación y análisis detallado. Recomendaba que la evaluación del riesgo se realice caso por caso. La información de la que se dispone por el momento es limitada y proviene de estudios *in vitro*, que aportan datos sobre la toxicidad derivada de la exposición oral a nanomateriales, pero que no son suficientes. Es necesario seguir investigando en el desarrollo de una metodología adecuada que permita detectar la potencial toxicidad de forma integral. Mientras esto no ocurra, recuerda que la evaluación caso por caso está sujeta a un alto grado de incertidumbre. Falta información y metodología para una adecuada evaluación del riesgo⁴⁹.

En el informe se recomienda, entre otras cuestiones, «desarrollar métodos para detectar y medir la presencia de nanomateriales en alimentos y

47. *Resolución del Parlamento Europeo, de 24 de abril de 2009, sobre los aspectos reglamentarios de los nanomateriales* (INI/2008/2208) «Considerando que, por otra parte, los nanomateriales pueden presentar nuevos riesgos considerables debido a su diminuto tamaño, como una reactividad y movilidad mayores, que pudieran suponer una mayor toxicidad en combinación con un acceso ilimitado al cuerpo humano, en el que posiblemente participen diferentes mecanismos de interferencia con la fisiología de las especies humanas y ambientales» (Considerando D).

48. Véase «Scientific Opinion on the Scientific Committee on a request from the European Commission on the Potential Risks Arising from Nanotechnologies on Food and Feed Safety», *The EFSA Journal*, núm. 958, 2009, p. 2.

49. En los mismos términos se pronunciaba –aproximadamente un mes antes que la Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria– el Comité Científico sobre Riesgos Emergentes y Recientemente Identificados para la Salud Humana en su Opinión sobre evaluación del riesgo de los productos derivados de las nanotecnologías. Véase Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), *Risk assessment on products of nanotechnologies*, de 19 de enero de 2009. Disponible en http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_023.pdf.

piensos y también en tejidos biológicos para estudiar el uso de nanomateriales en alimentos y piensos, evaluar la exposición en consumidores y ganado y generar información sobre la toxicidad de los diferentes nanomateriales»⁵⁰. El Comité es consciente de que las aplicaciones nanotecnológicas en el sector alimentación llevan aparejadas cuestiones ético-jurídicas, mediambientales, de seguridad, y que el abordaje debe realizarse de forma interdisciplinar.

IV. MARCO NORMATIVO DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN ALIMENTACIÓN HUMANA

Una noticia publicada en El País⁵¹ hace algo más de dos años con el siguiente titular «La UE da vía libre al empleo de nanopartículas en los alimentos» señalaba que la Comisión Europea no iba a legislar sobre esta nueva tecnología «en aras de la investigación». En 2010 la situación no ha cambiado. Que no exista una normativa específica sobre nanotecnología no quiere decir que no haya una regulación aplicable y que la investigación, el desarrollo de las nanociencias y nanotecnologías y su uso industrial no haya recibido el impulso necesario. Bien al contrario. Basta con echar un vistazo al 7º Programa Marco para constatar la apuesta efectuada por la Unión Europea en nanociencias y nanotecnologías⁵². Maurizio SALVI, director de la Secretaría del Grupo Europeo de Ética de la Ciencia y las Nuevas Tecnologías⁵³ y Asesor Político del Presidente de la Comisión Europea señala en un artículo sobre la Bioética en Europa⁵⁴ que el «Plan de Acción para la Nanotecnolo-

50. Véase «Scientific Opinion on the Scientific Committee on a request from the European Commission on the Potential Risks Arising from Nanotechnologies on Food and Feed Safety», *The EFSA Journal*, núm. 958, 2009, p. 2.

51. EL PAÍS (edición nacional), 14 de febrero de 2008, p. 40.

52. Sobre investigación en nanociencia y nanotecnologías consultar CORDIS: Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo dedicado a la ciencia, la investigación y el desarrollo es la fuente oficial de información de las convocatorias de propuestas del Séptimo Programa Marco (7PM) http://cordis.europa.eu/home_es.html para conocer la política de la Unión Europea sobre nanotecnologías véase el sitio web http://ec.europa.eu/nanotechnology/index_en.html. La Resolución del Parlamento Europeo, de 24 de abril de 2009 (INI/2008/2208), sobre los aspectos reglamentarios de los nanomateriales hace referencia al retraso en investigación en nanotecnologías respecto de Estados Unidos y Japón a pesar de que se han asignado unos 3.500 millones de euros a estas investigaciones en el 7PM. Véase Considerando C.

53. Que se pronunció en 2007 sobre los aspectos éticos de la nanomedicina (*Opinión núm. 21* de 1 de enero de 2007). Disponible en http://ec.europa.eu/european_group_ethics/avis/index_en.htm.

54. SALVI, M., «Bioética en Europa: diferencias, coincidencias e iniciativas políticas», *Revista Humanitas: Humanidades Médicas*, núm. 44, noviembre de 2009. Disponible en http://www.fundacionmhm.org/www_humanitas_es_numero44/revista.html.

gía»⁵⁵ es, desde una perspectiva política, un ejemplo de cómo la Unión Europea ha implantado la ética en diferentes sectores. Y, desde una perspectiva normativa, se refiere al *Código de conducta para una investigación responsable en el campo de las nanociencias y nanotecnologías* «para garantizar la contribución activa de la comunidad investigadora en general en materia de identificación y monitorización de posibles riesgos y de respeto de derechos fundamentales»⁵⁶.

Quizás, entre el «Plan de Acción para la Nanotecnología» y el *Código de conducta* dirigido a la comunidad investigadora, el lector habrá echado en falta algo. ¿Y las normas jurídicas que regulan las nanotecnologías? Garantizar un elevado nivel de protección de la salud, la seguridad y el medio ambiente –mientras la sociedad en su conjunto se beneficia de las aplicaciones de la nanotecnología desde un enfoque «integrado, seguro y responsable»⁵⁷– es un objetivo político de la Unión Europea. El *Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea*, en el artículo 168.1 (antiguo 152 TCE) –dentro del título dedicado a la salud pública– señala que «al definirse y ejecutarse todas las políticas y acciones de la Unión, se garantizará un alto nivel de protección de la salud humana». Con respecto a la protección de los consumidores, el artículo 169.1 (antiguo 153 TCE) indica que «para promover los intereses de los consumidores y garantizarles un alto nivel de protección, la Unión contribuirá a proteger la salud, la seguridad y los intereses económicos de los consumidores, así como a promover su derecho a la información, a la

55. Se refiere a la *Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, y al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo: Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009. Primer informe de aplicación 2005-2007* COM (2007) 505, de 6 de septiembre de 2007.

56. SALVI, M., «Bioética en Europa: diferencias, coincidencias e iniciativas políticas», *Revista Humanitas: Humanidades Médicas*, núm. 44, noviembre de 2009, p. 12. El autor se refiere a cómo los valores con los que se identifica la Unión Europea recogidos en la *Carta de Derechos Fundamentales de la Unión Europea* (DO C 364, de 18 de diciembre de 2000, p. 1 a 22) como la dignidad humana, la libertad, la igualdad y la solidaridad y la protección de los derechos humanos inspiran el diseño de políticas de la Unión. La *Carta de Derechos Fundamentales* se integra –tras el Tratado de Lisboa– en el Derecho primario de la Unión Europea, obteniendo el mismo valor jurídico que los Tratados. Así lo indica el artículo 6 del Tratado de la Unión Europea apartado 1. «La Unión reconoce los derechos, libertades y principios enunciados en la Carta de los Derechos Fundamentales de la Unión Europea de 7 de diciembre de 2000, tal como fue adaptada el 12 de diciembre de 2007 en Estrasburgo, la cual tendrá el mismo valor jurídico que los Tratados».

57. Tal como indica la *Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, y al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo: Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009. Primer informe de aplicación 2005-2007*, COM (2007) 505, de 6 de septiembre de 2007, p. 2.

educación y a organizarse para salvaguardar sus intereses». Es preciso tomar en consideración que la protección de la salud se persigue asimismo a través de la política de la Unión Europea en materia de medio ambiente. Así lo indica el artículo 191 (antiguo 174 TCE), que recoge el principio de cautela o precaución como instrumento que servirá para alcanzar un nivel de protección elevado en el ámbito del medio ambiente⁵⁸. El principio de precaución cobra especial protagonismo como principio general de la legislación alimentaria en el *Reglamento (CE) núm. 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 28 de enero de 2002, relativo a los principios y requisitos generales de la legislación alimentaria*⁵⁹, que regula los productos alimenticios y alimentarios y por el que se crea la Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria. El *Reglamento* es una norma de aplicación directa, que persigue aproximar y armonizar las legislaciones de los Estados miembros. Su antecedente su encuentra en el *Libro Blanco de la Seguridad Alimentaria*⁶⁰, que a propuesta de la Comisión ante las crisis alimentarias que acontecieron a finales del siglo XX, como fue la de las vacas locas, tiene como objetivo la construcción de un marco jurídico común que garantice un elevado nivel de seguridad alimentaria y de protección de los consumidores⁶¹.

El principio de precaución que «habilita excepcionalmente a los poderes públicos para adoptar con carácter provisional medidas preventivas cuando exista incertidumbre científica sobre un riesgo inminente»⁶², forma parte del Derecho primario de la Unión Europea, como se ha visto, gestándose en el ámbito del medio ambiente para, posteriormente, ser aplicable en el ámbito de la salud⁶³. Se trata de un principio que ha recibido críticas con respecto a su naturaleza jurídica, alcance y efectividad, especialmente por su falta de precisión, la cual es su mejor baza pues permite tomar decisiones que de otra forma no serían viables⁶⁴. El principio de precaución se

58. El artículo 191.2 también recoge el principio de acción preventiva; de corrección de los atentados al medio ambiente y el principio de quien contamina paga.

59. El principio de precaución se encuentra recogido en el artículo 7.

60. *Libro Blanco sobre la Seguridad Alimentaria*, de 12 de enero de 2000 (COM/99/0719 final).

61. Véase RODRÍGUEZ FONT, M., Régimen jurídico de la seguridad alimentaria, *op. cit.*, p. 123 a 127.

62. RUIZ-JARABO, D., «El desarrollo comunitario del principio de precaución», en CONSEJO GENERAL DEL PODER JUDICIAL, *El principio de precaución y su proyección en el Derecho administrativo español*, Madrid, 2005, p. 44.

63. Véase RUIZ-JARABO, D., «El desarrollo comunitario del principio de precaución», *op. cit.*, p. 44 a 81.

64. Véanse ESTEVE PARDO, J., «Ciencia y derecho ante los riesgos para la salud. Evaluación, decisión y gestión», *Documentación Administrativa*, 265-266, 2003, p. 145 y RUIZ-JARABO, D., «El desarrollo comunitario del principio de precaución», *op. cit.*, pp. 44 a 81.

convierte en la herramienta más idónea para gestionar las situaciones de incerteza⁶⁵ y hacer frente al riesgo inminente que pretende modular, el cual tiene que afectar al medio ambiente o a la salud humana animal o vegetal. Las decisiones que se toman en base al principio de precaución suelen tener un impacto negativo en el comercio como puede ser, por ejemplo, la retirada de un producto del mercado. Por ello es necesario que las medidas sean proporcionales al objetivo que se persigue, –esto es, alcanzar el elevado nivel de protección de la salud– y que las restricciones sean las necesarias y no discriminatorias. El recurso al principio de precaución se puede convertir en un arma de doble filo que encubra decisiones basadas en intereses determinados o que produzca una auténtica parálisis del desarrollo tecnológico o/y socioeconómico⁶⁶. El principio no aspira a erradicar los riesgos sino a reducirlos hasta el umbral de lo que se considere –por decisión política– riesgo aceptable. Tecnología es antónimo de inocuidad, es imposible eliminar los riesgos por completo como tampoco es posible evitar el desarrollo científico-tecnológico, la toma de decisiones al respecto y la exigencia de responsabilidades⁶⁷. En esta situación el derecho tiene que dar respuestas y articula una solución consistente en encomendar la determinación del riesgo y su información a las instancias científicas nombradas a tal efecto –como es el caso la Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria– y reserva la gestión del riesgo para el poder político y administrativo, principalmente mediante el recurso al principio de precaución. Esta situación evidencia cómo el poder científico ostenta una posición predominante con respecto a las nuevas tecnologías⁶⁸, y las nanotecnologías no son una excepción.

Seguidamente se comenta una serie de textos –como son *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo. Aspectos reglamentarios de los nanomateriales*,

65. Véase *Comunicación de la Comisión sobre el recurso al principio de precaución*, COM (2000) 1 final, de 2 de febrero de 2000. «El recurso al principio de precaución presupone que se han identificado los efectos potencialmente peligrosos derivados de un fenómeno y producto o un proceso, y la evaluación científica no permite determinar el riesgo con certeza suficiente», p. 3.
66. Véase CONSEJO GENERAL DEL PODER JUDICIAL, *El principio de precaución y su proyección en el Derecho administrativo español*, Madrid, 2005.
67. Tras los riesgos de las nuevas tecnologías hay decisiones humanas de las que se derivan responsabilidades. En este sentido véanse ESTEVE PARDO, J., «Ciencia y derecho ante los riesgos para la salud. Evaluación, decisión y gestión», *Documentación Administrativa*, 265-266, 2003 y CASADO, M. y CORCOY, M., «Principios de precaución y gestión del riesgo en el contexto de la nanotecnología», capítulo 8 de este libro.
68. Véase ESTEVE PARDO, J., «Ciencia y derecho ante los riesgos para la salud. Evaluación, decisión y gestión», *op. cit.* y RODRÍGUEZ FONT, M., *Régimen jurídico de la seguridad alimentaria*, *op. cit.*

COM (2008) 366 final, de 17 de junio 2008 y la *Resolución del Parlamento Europeo, de 24 de abril de 2009, sobre los aspectos reglamentarios de los nanomateriales* (INI/2008/2208)– que permiten aportar luz sobre la regulación de las nanotecnologías, sus puntos sensibles y retos de futuro.

La Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo sobre aspectos reglamentarios de los nanomateriales –cuyo ámbito de aplicación son los nanomateriales en producción o comercializados que pueden producir beneficios en la población pero también nuevos riesgos para la salud humana y el medio ambiente–, revisa la normativa aplicable a los nanomateriales⁶⁹. Esto es, la que regula «las sustancias químicas, la protección de los trabajadores, los productos y la protección del medio ambiente»⁷⁰. La Comisión señala que la legislación actual permite abordar «en gran medida» los riesgos que los nanomateriales puedan generar –porque el riesgo cero no existe– sin cerrar la puerta a futuras modificaciones.

La normativa actual es suficiente. La Comisión incide en centrar los esfuerzos en una mejor aplicación de la misma, condicionada a la mejora de la base de los conocimientos científicos⁷¹, especialmente en evaluación de riesgos, sobre los que es preciso seguir investigando. También hace referencia a las decisiones administrativas y a las obligaciones de fabricantes y empresarios. Perfeccionar la aplicación de la normativa existente incluye, según la Comisión, tomar en consideración los pronunciamientos no vinculantes de los comités científicos con carácter asesor así como otros documentos que puedan aportar luz sobre la gestión de los riesgos de los nanomateriales. De la Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria habrá de tenerse en cuenta los informes emitidos al respecto⁷². El principio de precaución es la herramienta fundamental para la toma de decisiones con respecto a los riesgos de los nanomateriales. Las medidas que se tomen en base a este principio «deben respetar los principios generales de la gestión de los riesgos y, por

69. En respuesta a la *Comunicación de la Comisión «nanociencias y nanotecnologías: un plan de acción para Europea 2005-2009»*, COM (2005) 243 final, de 7 de junio de 2005 en la que se preveía la revisión normativa.

70. Véase *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo. Aspectos reglamentarios de los nanomateriales*, COM (2008) 366 final, de 17 de junio 2008, p. 3.

71. «En la actualidad, la base científica para conocer plenamente todas las propiedades y los riesgos de los nanomateriales no está consolidada», *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo sobre aspectos reglamentarios de los nanomateriales*, p. 8.

72. Nótese que la *Opinión* de la Autoridad Europea de la Seguridad Alimentaria, comentada en el apartado 3 del presente capítulo, es posterior a la *Comunicación de la Comisión*, tras su publicación no se han producido cambios significativos nuevamente debido a que la información científica disponible es insuficiente.

tanto, deben ser proporcionadas, no discriminatorias y coherentes, y han de basarse en el análisis de los posibles beneficios y costes de la acción o falta de acción, así como en el estudio del desarrollo científico»⁷³.

La Comisión incluye en la gestión de los riesgos la información que se debe proporcionar a los consumidores/usuarios. Recuerda que la normativa europea sobre etiquetado de productos también es aplicable a los nanomateriales y que los datos sobre los riesgos para el medio ambiente, la seguridad y la salud puedan ser conocidos, siguiendo los procedimientos que la normativa existente establece. La Comunicación de la Comisión finaliza destacando la vigilancia del mercado y los mecanismos de intervención disponibles como actividades imprescindibles para la gestión de los riesgos derivados de los nanomateriales. Se refiere a la intervención que pueden realizar las autoridades en caso de existencia de un riesgo que la justifique una vez el producto se ha introducido en el mercado.

La referencia al *Código de conducta para una investigación responsable en el campo de las nanociencias y nanotecnologías* por parte de la Comisión permite recuperar aquí la importancia de los entramados normativos⁷⁴ en la regulación de las nuevas tecnologías. La coexistencia de distintos tipos de normas, éticas y jurídicas, aporta pautas de conducta, seguridad, ayuda a la cohesión social y a generar confianza. De hecho, la *Recomendación de la Comisión de 7 de febrero de 2008* que contiene el *Código*, establece una serie de principios generales a respetar⁷⁵ y directrices «que han sido objeto de consulta pública» (Considerando 12) y se presenta como un instrumento dirigido a los Estados para que las investigaciones en nanociencias y nanotecnologías en la Unión Europea se realicen de forma «segura, ética y responsable» (Considerando 13). Se trata de fomentar una investigación responsable que permita una economía basada en el conocimiento competitiva, que genere cohesión social y puestos de trabajo y la creación y coordinación de sinergias europeas e internacionales. El crecimiento económico –y el poder– que la investigación y el desarrollo de las nanociencias y nanotecnologías puede generar

73. *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo sobre aspectos reglamentarios de los nanomateriales*, COM (2008) 366 final, de 17 de junio 2008, p. 9.

74. CASADO, M., «Ética, Derecho y Deontología profesional», *Revista de Derecho y Salud*, vol. 6, enero-junio 1998, pp. 30 a 45.

75. Como son: sentido; sostenibilidad; precaución; participación; excelencia; innovación; y rendición de cuentas. Estos principios establecidos por la Unión Europea en la *Recomendación* no se alejan de los propuestos por la Comisión Mundial de Ética sobre el Conocimiento Científico (COMEST) en las recomendaciones recogidas en *Nanotechnologies and Ethics, policies and actions, Policy Recommendations*, UNESCO, Paris, 2007.

debe ponderarse con el aseguramiento del elevado nivel de salud que la Unión tiene como objetivo y con la protección de los principios éticos y los derechos fundamentales (punto 4.1.15 prohibición, limitación y restricciones). Pensado para la comunidad investigadora, es interesante prestar atención al concepto «partes interesadas» dentro del ámbito de aplicación del *Código*⁷⁶. Se trata de un código de carácter voluntario, que viene a completar la legislación vigente⁷⁷ y que sirve al investigador para orientar sus actividades, también a «los Estados miembros, los empleadores, las entidades financiadoras de la investigación, los investigadores y, más en general, todas las personas de la sociedad civil que participan, están involucradas, o están interesadas en la investigación sobre N+N»⁷⁸. Se espera que los Estados integren las pautas establecidas en el *Código* en las decisiones relativas a la investigación en nanociencias y nanotecnologías y en sus planes estratégicos⁷⁹.

El tiempo mostrará la influencia ejercida por el *Código* en el ámbito de la investigación en nanotecnologías y su aplicación. Y en el desarrollo de una normativa jurídica capaz de abarcar la complejidad que encierran las nanotecnologías y proporcionar las respuestas adecuadas. Contar con postulados éticos que permitan ir avanzando en el tratamiento de las nuevas tecnologías parece un buen punto de partida, y un complemento decisivo en muchos casos, para que se tome conciencia y se respeten los derechos de los sujetos implicados sin paralizar el progreso derivado de la ciencia y la tecnología.

El Parlamento Europeo, en su *Resolución de 24 de abril de 2009, sobre los aspectos reglamentarios de los nanomateriales*⁸⁰ cuestiona la posición de la Comisión Europea sobre la regulación de los nanomateriales⁸¹. Considera que se

76. 1. Ámbito de aplicación y objeto «El Código de conducta invita a las partes interesadas a actuar con responsabilidad y cooperar mutuamente en consonancia con la estrategia y el plan de acción de la Comisión en materia de N+N, a fin de garantizar que la investigación sobre N+N se lleve a cabo en la Comunidad dentro de un marco seguro, ético y eficaz, que respalde el desarrollo económico, social, ambiental y sostenible».
77. Así lo indica la *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo. Aspectos reglamentarios de los nanomateriales*, COM (2008) 366 final, de 17 de junio 2008, p. 4.
78. Definiciones apartado c) *Recomendación de la Comisión sobre un código de conducta para una investigación responsable en el campo de las nanociencias y nanotecnologías*, C (2008) 424 final, de 7 febrero de 2008.
79. *Recomendación de la Comisión sobre un código de conducta para una investigación responsable en el campo de las nanociencias y nanotecnologías*, C (2008) 424 final, de 7 febrero de 2008.
80. *Resolución del Parlamento Europeo, de 24 de abril de 2009, sobre los aspectos reglamentarios de los nanomateriales* (INI/2008/2208).
81. *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico y*

requiere una respuesta legislativa específica, preferentemente sobre alimentos y productos químicos «que aborde explícitamente las aplicaciones presentes y futuras de los nanomateriales, así como la naturaleza misma de los posibles problemas de salud, medio ambiente y seguridad» (AA 1.) quedando la comunicación como un estudio generalista que no prevé cambios. Solicita a la comisión que se revise en el plazo de dos años la legislación, lamentando que no se haya realizado un estudio sobre la aplicación de la normativa existente. El objetivo es garantizar la seguridad de los productos derivados de las nanotecnologías y la protección de la salud y el medio ambiente. Precisa que la revisión legislativa debe realizarse para generar confianza en el tráfico jurídico y en la sociedad en general, lo cual requiere la existencia de un debate público auspiciado por la Comisión y los Estados miembros, prestando especial atención a la dimensión social de las nanotecnologías. Recomienda que el *Código de Conducta* sea asumido como propio por parte de aquellos que fabriquen y comercialicen productos que contengan nanomateriales. Asimismo, el Parlamento, y específicamente para el tema que nos ocupa, la alimentación humana, propone una serie de medidas relativas al etiquetado de los productos y la información que recibe el consumidor. El Parlamento solicita a la Comisión que, antes de junio de 2011, se realice un inventario de los diferentes tipos de productos derivados de las nanotecnologías existentes en el mercado para informar al público en general, de acceso libre que permita obtener datos sobre su seguridad.

A modo de conclusión, puede afirmarse que las nanotecnologías generan un nuevo espacio incierto y complejo para el debate sobre viejas cuestiones. La protección de los derechos de los sujetos ante las nuevas tecnologías, las repercusiones medioambientales, los beneficios y riesgos que la ciudadanía está dispuesta a asumir o la dirección que deben tomar las investigaciones y cómo se gestiona su resultado. Viejas cuestiones que ya se planteaban con respecto a las biotecnologías y en las que los comités científicos y el principio de precaución se convierten en protagonistas –especialmente en el ámbito de la seguridad alimentaria–, vinculando ciencia y derecho⁸².

Como ante cualquier avance científico-tecnológico, el derecho está llamado a establecer las condiciones en que las nanotecnologías deben desarrollarse –a través del establecimiento o la modificación normativa– y debe dirimir los conflictos que puedan surgir. Pero para ello, el derecho requiere ineludiblemente del soporte de la ciencia, del mejor conocimiento disponi-

Social Europeo sobre aspectos reglamentarios de los nanomateriales, COM (2008) 366 final, de 17 de junio de 2008.

82. Véase MONTORO, M. J., «Seguridad jurídica, principio de cautela y comités científicos», *Documentación Administrativa*, núm. 265-266, enero-agosto 2003, pp. 319 a 363.

ble para avanzar en el tratamiento de estas cuestiones, convirtiéndose en un auténtico reto. Se ha visto cómo la falta de conocimiento de base científica no permite avanzar en el desarrollo de una normativa adecuada, que sea capaz de dar respuestas más atinadas en el ámbito de las nanotecnologías. A mayor conocimiento científico mejor regulación. El derecho depende también de las especificaciones técnicas, de los organismos de normalización que tratan de establecer estándares internacionales. Se ha observado cómo la falta de consenso en la definición y caracterización de los nanomateriales, repercute en el plano jurídico produciendo cierta parálisis. Ante estas limitaciones se reclama una mejor aplicación de la normativa existente. Y para ello, es preciso un análisis exhaustivo de su aplicación que permita aprender de los errores⁸³. Al mismo tiempo, en el ámbito de la alimentación humana, se demanda una regulación específica e información sobre los productos que se encuentran en el mercado. Información para poder tomar decisiones y para generar confianza tanto en el progreso y sus resultados como en los poderes públicos⁸⁴.

También se concluye, sin novedades, que el impacto que puedan tener las aplicaciones nanotecnológicas requiere un tratamiento pluridisciplinar⁸⁵ y multidimensional, pues las decisiones que se tomen con el objetivo de garantizar la salud y la seguridad alimentaria –humana, animal y medioambiental– puede tener importantes repercusiones socioeconómicas. Asimismo la reflexión ética, que está presente en todo momento, tampoco es una nueva aportación a destacar en el ámbito de las nanotecnologías. Se demanda desde todos los sectores sociales y la promueven todas las instancias. Ciencia y derecho llaman a la reflexión ética y la sociedad demanda más información para poder participar en la toma de decisiones.

83. En este sentido véase AGENCIA EUROPEA DEL MEDIO AMBIENTE, *Alertas tempranas lecciones tardías*, 2002. Disponible en pdf en http://www.eea.europa.eu/es/publications/environmental_issue_report_2001_22.

84. «Encuestas de la Comisión y de otras fuentes han revelado que gran parte de los ciudadanos europeos todavía no tienen suficientes conocimientos de las N+N. No obstante, estas encuestas muestran al mismo tiempo que la confianza en la capacidad de las autoridades públicas europeas de gestionar correctamente el ámbito de las nanotecnologías es mayor en Europa que en otras partes del mundo», *Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009. Primer informe de aplicación 2005-2007*, COM (2007) 505, de 6 de septiembre de 2007, p. 8.

85. «En los próximos años, conviene agrupar las actividades, aprovechando el impulso actual y prestando una atención especial al desarrollo de infraestructuras interdisciplinares, la instauración de condiciones idóneas para una utilización segura y eficaz de las nanotecnologías, y una visión común de la responsabilidad de los investigadores dentro de un marco ético», *Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009. Primer informe de aplicación 2005 –2007*, COM (2007) 505, de 6 de septiembre de 2007, p. 2.

El *Código de conducta para una investigación responsable* se presenta como la única normativa específica –de carácter ético– existente en el ámbito de las nanotecnologías que no suple el vacío legal existente. Se ha visto cómo el Parlamento Europeo demanda una normativa específica sobre productos derivados de las nanotecnologías, a la vez que recomienda que el mencionado *Código* se extienda a otros sectores para que sea asumido como propio. Ya se ha señalado que es un buen punto de partida, y que es preciso analizar la influencia que ejerce pero no se puede esperar que sea la única respuesta. Recordemos que el *Código* se halla contenido en una *Recomendación* de la Comisión Europea que tiene como objetivo orientar conductas pero no tiene carácter vinculante⁸⁶. La situación de parálisis legislativa sobre nanotecnologías puede justificarse no sólo en la falta de conocimientos científicos suficientes, sino también en la presión que ejerce la industria. Como se ha visto, existe un amplio abanico de textos –comunicaciones, informes, recomendaciones, opiniones, etc.– emitidos por instituciones y comités en el ámbito de la Unión Europea que dan soporte a la apuesta por las nanotecnologías e informan sobre el estado de la cuestión, los retos a alcanzar y las carencias, haciendo hincapié en la normativa. Dos Programas Marco (6º y 7º) han destinado cantidades ingentes de dinero a numerosos proyectos de investigación sobre las mismas. Pero no existe desarrollo normativo, ni parece que haya intención al respecto.

V. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN NANOTECNOLOGÍAS Y PRINCIPIO DE RESPONSABILIDAD SOCIAL Y SALUD RECONOCIDO EN LA DECLARACIÓN UNIVERSAL SOBRE BIOÉTICA Y DERECHOS HUMANOS DE LA UNESCO

En este apartado pretendo introducir un nuevo enfoque que asocia investigación y desarrollo de las nanotecnologías al principio de responsabilidad social y salud reconocido en el artículo 14 de la *Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos de la UNESCO*⁸⁷, específicamente con respecto al

86. Véase en este sentido FERNÁNDEZ PONS, X., «Fuentes del Derecho de la Unión (II): Derecho derivado», en SÁNCHEZ, V. (Dir.), *Derecho de la Unión Europea*, Huygens, Barcelona, 2010, p. 166.

87. Artículo 14. Responsabilidad social y salud. 1. La promoción de la salud y el desarrollo social para sus pueblos es un cometido esencial de los gobiernos, que comparten todos los sectores de la sociedad. 2. Teniendo en cuenta que el goce del grado máximo de salud que se pueda lograr es uno de los derechos fundamentales de todo ser humano sin distinción de raza, religión, ideología política o condición económica o social, los progresos de la ciencia y la tecnología deberían fomentar: a) el acceso a una atención médica de calidad y a los medicamentos esenciales, especialmente para la salud de las mujeres y los niños, ya que la salud es esencial

acceso a una alimentación y agua adecuadas y la reducción de la pobreza. Una *Declaración* que forma parte de los textos considerados de referencia en bioética⁸⁸ que «trata de las cuestiones éticas relacionadas con la medicina, las ciencias de la vida y las tecnologías conexas, aplicadas a los seres humanos, teniendo en cuenta sus dimensiones sociales, jurídicas y ambientales» (art. 1). Como texto normativo adoptado por los Estados⁸⁹ que forman parte de la comunidad internacional, su importancia radica en que vincula definitivamente la bioética al Derecho Internacional relativo a los Derechos Humanos⁹⁰.

Se trata de otra aproximación a estas nuevas tecnologías en relación a la alimentación humana desde la justicia social. Cómo los avances científico-tecnológicos contribuyen a disminuir las desigualdades existentes –y la distancia– entre los países en desarrollo y el primer mundo; si favorecen el desarrollo social y la mejora de las condiciones de salud y de vida de la población⁹¹. Si, en definitiva, van a ser útiles para tratar los problemas que el mundo globalizado necesita solucionar con urgencia como es el hambre asociada a la pobreza e incluso a la violencia.

En infinitas ocasiones se ha dicho que los organismos modificados genéticamente iban a paliar el «hambre en el mundo», pero no ha sido así ni parece que la situación vaya a cambiar⁹². Las preguntas que cabe hacer al respecto son ¿qué se espera de los avances nanotecnológicos? ¿Cómo y dónde aplicarlos? Las respuestas no están en las nanociencias o las nanotecnologías,

para la vida misma y debe considerarse un bien social y humano; b) el acceso a una alimentación y un agua adecuadas; c) la mejora de las condiciones de vida y del medio ambiente; d) la supresión de la marginación y exclusión de personas por cualquier motivo; y e) la reducción de la pobreza y el analfabetismo.

88. Véase DE LECUONA, I., «Textos y recursos de referencia para abordar los retos del derecho público desde una perspectiva bioética», *Revista Catalana de Dret Públic*, núm. 36, 2008, p. 239.

89. Nótese que los destinatarios de la Declaración no son únicamente los Estados. Art. 1.2 «La Declaración va dirigida a los Estados. Imparte también orientación, cuando procede, para las decisiones o prácticas de individuos, grupos, comunidades, instituciones y empresas, públicas y privadas».

90. Véase BADIA, A., «Artículo 22. Función de los Estados y artículo 24. Cooperación Internacional», en CASADO, M. (Coord.), *Sobre la dignidad y los principios: análisis de la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos UNESCO*, Civitas, Pamplona, 2009, p. 499.

91. Véase BARKER, T. *et. al.*, «Nanotechnology and the poor: opportunities and risks for developing countries», en ALLHOFF, F. LIN, P. (Eds.), *Nanotechnology & Society: Current and emerging ethical issues*, Springer, Netherlands, 2009, p. 243 a 263.

92. Véase, por ejemplo, LÓPEZ FANDIÑO, R. y MEDINA MÉNDEZ, I., *La alimentación en el siglo XXI*, *op. cit.*, p. 123.

sino en las decisiones políticas⁹³ que incentivan determinadas investigaciones en determinados lugares –muchas veces lejos de sus destinatarios finales– sus aplicaciones industriales y comercialización. La contestación se materializa por ejemplo, en compartir los beneficios del conocimiento derivado de las investigaciones con aquellos a los que puede producir una mejora o restringiendo su acceso a través del sistema de patentes. Esto conduce a cuestionar la financiación de las investigaciones y la tendencia actual a la privatización del conocimiento⁹⁴. Un tema que no es patrimonio exclusivo de las nanotecnologías ni, desde luego, novedoso. Lamentablemente, como ya se ha visto, estas nuevas tecnologías obligan a repensar viejas cuestiones. «Aunque las nanotecnologías son nuevas y apasionantes, los problemas que suscitan en el plano de la ética y las políticas no difieren radicalmente de los que tenemos que afrontar actualmente. Sin embargo pueden ofrecer la posibilidad de tratarlos con más acierto»⁹⁵.

El principio de responsabilidad social y salud –que apela a la responsabilidad de los Estados y de todos los agentes sociales para trabajar juntos en el desarrollo y promoción de la salud– se enmarca en una concepción de la bioética global y social⁹⁶ que presta atención a los problemas de la colectividad y en la que derechos humanos y principios bioéticos se retroalimentan. Consiste pues en orientar la investigación y posterior desarrollo nanotecnológico de tal manera que contribuya al desarrollo del derecho humano a la salud, a alcanzar el goce del grado máximo de salud que se puede esperar. Que el progreso científico-tecnológico permita el desarrollo social, orientándose a atender y beneficiar a aquellos que más lo necesitan.

La UNESCO se ha pronunciado sobre los beneficios que la investigación, el desarrollo y la aplicación de las nanotecnologías pueden reportar, en especial, a los países del tercer mundo. Esta Organización del sistema de Naciones Unidas dedicada a la promoción de la paz a través de la cultura, la

93. En este sentido véase MARTÍNEZ-PALOMO, A., «Social responsibility and health», en TEN HAVE, H. A. JEAN, M., *The Universal Declaration on Bioethics and Human Rights*, UNESCO, Paris, 2009, p. 219 a 231.

94. RIECHMANN, J., «Nanomundos, multiconflictos, una introducción», en RIECHMANN, J., (Coord.), *Nanomundos, multiconflictos, Una aproximación a las nanotecnologías*, op. cit., p. 10. Véase también COMEST, *Nanotechnologies and Ethics, Policies and Actions, Policy Recommendations*, UNESCO, Paris, 2007.

95. UNESCO, *Ética y política de la nanotecnología*, París, 2007, p. 24.

96. Véanse BERNAL, I., «Perspectivas de la Declaración Universal en Iberoamérica», en *Hacia una bioética Universal, la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos de la UNESCO*, Cátedra de Derecho y Genoma Humano e Instituto Roche, p. 41 a 46 y MARTÍNEZ-PALOMO, A., «Social responsibility and health», en TEN HAVE, H. A. y JEAN, M., *The Universal Declaration on Bioethics and Human Rights*, UNESCO, Paris, 2009, pp. 219-231.

ciencia, la educación y la comunicación, con responsabilidades específicas en el ámbito de la investigación científica⁹⁷ incide en que las nanotecnologías pueden contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio⁹⁸: erradicar la pobreza extrema y el hambre; educación universal; igualdad entre géneros; reducir la mortalidad de los niños; mejorar la salud materna; combatir el VIH/SIDA; la sostenibilidad del medio ambiente y fomentar una asociación mundial⁹⁹. Un artículo publicado en *Plos Medicine* sobre la nanotecnología y el tercer mundo¹⁰⁰, se toma como referencia también en varios textos publicados por UNESCO¹⁰¹ para indicar cómo las aplicaciones derivadas de la investigación y desarrollo de las nanotecnologías podrían beneficiar especialmente al tercer mundo tratando así de reducir la brecha norte-sur.

Para el tema que nos ocupa, el acceso a una alimentación y agua adecuadas, –estrechamente relacionado con la pobreza–, las nanotecnologías podrían mejorar, por ejemplo, la productividad agropecuaria, a través de la medición del crecimiento de los cultivos con nanosensores y distribución de herbicidas mediante nanocápsulas –contribuyendo asimismo a la sostenibilidad del medio ambiente y a reducir también la mortalidad infantil y mejorar la salud materna–. La aplicación de nanotecnología en el tratamiento y saneamiento del agua –purificación, desalinización y eliminación de los elementos tóxicos mediante nanomembranas y la detección de contaminantes y patógenos mediante nanosensores– ayudaría en el mismo sentido. Desde la perspectiva de la seguridad alimentaria ya se ha comentado cómo las nanotecnologías podían permitir mejorar el procesamiento y la conservación de alimentos, aportando su grano de arena en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de Naciones Unidas¹⁰². El borrador del informe sobre responsabilidad social y salud del Comité Internacional de Bioética UNESCO señala la imposibilidad de alcanzar los objetivos del milenio en la

97. TEN HAVE, H. A., «Introduction: UNESCO, ethics and emerging technologies», en *Nanotechnologies, Ethics and Politics*, UNESCO, 2007, p. 13.

98. UNESCO, *Ética y política de la nanotecnología*, París, 2007, p. 13.

99. Para más información sobre los Objetivos de Desarrollo del Milenio de Naciones Unidas véase <http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/>.

100. SALAMANCA-BUENTELLO, F., PERSAD, D. L., COURT, E. B., MARTIN, D. K., DAAR, A. S. y SINGER, P. A., *Nanotechnology and the developing world*, Plos Medicine, 2005, Vol. 2, núm. 5 doi:10.1371/journal.pmed.0020097.

101. UNESCO, *Ética y política de la nanotecnología*, París, 2007 y TEN HAVE, H. A., *Nanotechnologies. Ethics and Politics*, op. cit.

102. Véase SALAMANCA-BUENTELLO, F., PERSAD, D. L., COURT, E. B., MARTIN, D. K., DAAR, A. S. y SINGER, P. A., *Nanotechnology and the developing world*, Plos Medicine, 2005, Vol. 2, núm. 5, Table 1. Correlation between the Top Ten Applications of Nanotechnology for Developing Countries and the UN Millennium Development Goals.

fecha establecida por Naciones Unidas a tal efecto, 2015 si no se atiende a los determinantes sociales¹⁰³. Esto es, a las condiciones de vida y trabajo que son las causantes de las desigualdades y que provocan que las personas enfermen¹⁰⁴.

Uno de los cometidos del mencionado Comité es desarrollar, a través de sus informes¹⁰⁵, los principios contenidos en la *Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos* UNESCO. Interesa especialmente destacar las funciones que el Comité, en su Informe, asigna a los comités nacionales de bioética con respecto a la implementación del principio sobre responsabilidad social y salud. Estas instancias deben ser capaces de identificar cuáles son las investigaciones más pertinentes para la salud y el desarrollo social en el país en el que desplieguen su actividad. Se espera que formulen recomendaciones sobre qué políticas de investigación se consideran prioritarias y sostenibles y que fomenten el debate social sobre la responsabilidad social y salud ayudando a concretar sus dimensiones éticas. Los Estados, especialmente aquéllos en desarrollo, deben poder crear e implementar sus propias estructuras para la toma de decisiones en el ámbito de la investigación. UNESCO manifiesta su interés por que la *Declaración* sea tomada como referencia en el desarrollo de políticas, decisiones y normativa en el ámbito de las ciencias de la vida, la medicina y las tecnologías conexas. Y destaca la importancia de las acciones de capacitación como complemento perfecto para su aplicación. Se refiere a la educación en bioética y a la implementación de comités de ética, en distintos ámbitos, especialmente comités nacionales de ética. Es por ello que ha desarrollado un programa específico de Asistencia a Comités de Bioética¹⁰⁶.

103. INTERNATIONAL BIOETHICS COMMITTEE (IBC), *Report on Social Responsibility and Health*, UNESCO, Paris, 2010. Disponible en <http://www.unesco.unesco.org/images/0018/001878/187899e.pdf>.

104. Véase UNESCO INTERNATIONAL BIOETHICS COMMITTEE (IBC), *Draft Report on Social Responsibility and Health*, de 29 de marzo de 2009 (SHS/EST/CIB-15/08/CONF.502/3 REV) Apartado II: determinantes sociales y salud y restricciones en el acceso a la salud.

105. Véase la presentación realizada por el Director de la División de Ciencias Humanas y Sociales de UNESCO, Henk TEN HAVE, «Promoting bioethics: The contribution of UNESCO» en la 16ª reunión del Comité Internacional de Bioética UNESCO celebrada en México, D. F., en noviembre de 2009. Disponible en <http://www.unesco.org/new/en/social-and-human-sciences/themes/bioethics/international-bioethics-committee/ibc-sessions/sixteenth-session-mexico-city-2009/>.

106. Programa de Asistencia a Comités de Bioética UNESCO disponible en <http://www.unesco.org/new/en/social-and-human-sciences/themes/bioethics/assisting-bioethics-committees/>.

Cómo los Estados deben enfocar sus investigaciones en nanociencia y nanotecnología y su posterior aplicación, permite afirmar la importancia de los comités nacionales de bioética en el ámbito de la ciencia y tecnología, impulsando su tratamiento desde una perspectiva ética¹⁰⁷. Es por ello que la *Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos* de UNESCO sitúa a los comités de ética en una posición estratégica: en el ámbito de aplicación una vez enunciados los objetivos y establecidos los principios¹⁰⁸. Porque estas instancias contribuyen efectivamente a orientar el curso del progreso científico-tecnológico, y así pueden hacerlo en aquello que respecta a la nanotecnología, a través de la formulación de recomendaciones asesorando al poder político. No es de extrañar, pues, la tendencia de los Estados a dotarse de este tipo de infraestructuras éticas¹⁰⁹ que resultan los mecanismos más idóneos para establecer el necesario balance entre beneficios y riesgos, ponderar derechos y sopesar intereses en juego, previamente a la toma de decisiones sobre el progreso científico-tecnológico. Pero no se trata de comités de expertos, sino de foros donde la interdisciplinariedad es un requisito fundamental junto a la pluralidad e independencia¹¹⁰.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA EUROPEA DEL MEDIO AMBIENTE, *Alertas tempranas, lecciones tardías*, 2002.

ALEMANY, M., «Dietética (bioética y deontología en nutrición humana y dietética)», *Revista de Bioética y Derecho*, núm. 9, 2007, pp. 1-7.

ALLHOFF, F. y LIN, P. (Eds.), *Nanotechnology & Society: Current and emerging ethical issues*, Springer, Netherlands, 2009.

CASADO, M. (Coord.), *Sobre la dignidad y los principios: análisis de la Declaración sobre Bioética y Derechos Humanos UNESCO*, Civitas, Navarra, 2009.

107. Véase BADIA, A., «Artículo 22. Función de los Estados y artículo 24. Cooperación Internacional», en CASADO, M. (Coord.), *Sobre la dignidad y los principios*, op. cit., pp. 503 a 504.

108. DE LECUONA, I., «Los comités de ética como mecanismos de aplicación de la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos UNESCO», en CASADO, M. (Coord.), *Sobre la dignidad y los principios*, op. cit., p. 441 a 451.

109. Véase por ejemplo European Conference of National Ethics Committees auspiciada por el Consejo de Europa (http://www.coe.int/t/dg3/healthbioethic/cometh/default_en.asp) o el Forum of National Ethics Councils de la Unión Europea También se puede consultar la base de datos creada por UNESCO Observatorio de Ética Global (GEOBs 2) <http://www.unesco.org/new/en/social-and-human-sciences/themes/global-ethics-observatory/>.

110. Artículo 19 Comités de ética. *Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos UNESCO*, 2005.

Comunicación de la Comisión sobre el recurso al principio de precaución 2000, COM (2000) 1 final, de 2 de febrero de 2000.

Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo sobre aspectos reglamentarios de los nanomateriales, COM (2008) 366 final, de 17 de junio de 2008.

Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, y al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo: Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009. Primer informe de aplicación 2005-2007, COM (2007) 505, de 6 de septiembre de 2007.

CONSEJO GENERAL DEL PODER JUDICIAL, *El principio de precaución y su proyección en el Derecho Administrativo español*, Madrid, 2005.

«Scientific Opinion of the Scientific Committee on a request from the European Commission on the Potential Risks Arising from Nanoscience and Nanotechnologies on Food and Feed Safety», *The EFSA Journal* (2009) 958, pp. 1 a 39.

ESTEVE PARDO, J., «Ciencia y derecho ante los riesgos para la salud. Evaluación, decisión y gestión», *Documentación Administrativa*, 265-266, 2003, pp. 137 a 149.

FUNDACIÓ CATALANA PER LA RECERCA I LA INNOVACIÓ, *Informe ICPDE Nanotecnologia: què es i com ens afectarà?*, Barcelona, 2009.

MONTORO, M. J., «Seguridad jurídica, principio de cautela y comités científicos», *Documentación Administrativa*, núm. 265-266, enero-agosto 2003, pp. 319 a 363.

Recomendación de la Comisión sobre un código de conducta para una investigación responsable en el campo de las nanociencias y nanotecnologías C (2008) 424 final, de 7 febrero de 2008.

Resolución del Parlamento Europeo, de 24 de abril de 2009, sobre los aspectos reglamentarios de los nanomateriales (INI/2008/2208).

RIECHMANN, J., (Coord.), *Nanomundos, multiconflictos. Una aproximación a las nanotecnologías*, Icaria, Barcelona, 2009.

RODRÍGUEZ FONT, M., *Régimen jurídico de la seguridad alimentaria. De la policía administrativa a la gestión de los riesgos*, Marcial Pons, Madrid, 2007.

SCIENTIFIC COMMITTEE ON EMERGING AND NEWLY IDENTIFIED HEALTH RISKS, *Risk assessment of products of nanotechnologies* (19 January 2009).

SALAMANCA-BUENTELLO, F., PERSAD, D. L., COURT, E. B., MARTIN, D. K., DAAR, A. S. y SINGER, P. A., «Nanotechnology and the developing world», *Plos Medicine*, 2005, Vol. 2, núm. 5 doi: 10.1371/journal.pmed.0020097.

- SÁNCHEZ, V. (Dir.), *Derecho de la Unión Europea*, Huygens, Barcelona, 2010.
- TEN HAVE, H., *Nanotechnologies, Ethics and Politics*, UNESCO, Paris, 2007.
- TEN HAVE, H. y JEAN, M. S., *The Universal Declaration on Bioethics and Human Rights, Background, principles and application*, UNESCO, Paris, 2009.
- UNESCO, *Ética y Política de la Nanotecnología*, UNESCO, Paris, 2007.
- UNESCO INTERNATIONAL BIOETHICS COMMITTEE (IBC), *Report on Social Responsibility and Health*, UNESCO, Paris, 2010.
- WORLD COMMISSION ON THE ETHICS OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE AND TECHNOLOGY, *Nanotechnologies and Ethics, Policies and Actions, COMEST Policy Recommendations*, UNESCO, Paris, 2007.

Nanotecnologías: seguridad y salud laboral

RUTH JIMÉNEZ SAAVEDRA

SUMARIO.—I. EFECTOS POTENCIALES SOBRE LA SALUD Y SEGURIDAD.—II. EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN.—III. ¿REGULADOS O NO REGULADOS? HE AHÍ LA CUESTIÓN.—IV. PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS. PAUTAS GENERALES.—1. *Evitar los riesgos*.—2. *Gestión de riesgos*.—2.1. Recogida de información e identificación de peligros.—2.2. Evaluación de la exposición.—2.3. Evaluación y caracterización del riesgo.—2.4. Documentación y revisión.—2.5. Procedimientos de control de la exposición.—2.5.1. Matriz de bandas de control («Control Banding approach»).—2.5.2. ¿Son suficientes las medidas técnicas?—2.6. Vigilancia de la salud.—2.7. Almacenamiento anterior a la eliminación y eliminación.—2.8. Formación e información.—2.9. Fuego y explosión.—2.10. Personal competente: ¿el técnico de prevención?—V. CONCLUSIONES. BIBLIOGRAFÍA.

I. EFECTOS POTENCIALES SOBRE LA SALUD Y SEGURIDAD

Desde hace mucho tiempo, es sabido que la exposición laboral a partículas y aerosoles en el lugar de trabajo puede tener consecuencias sobre la salud de aquellos individuos que se encuentran expuestos. Entre ellos se incluyen las nanopartículas o en su amplio espectro los nanomateriales.

Los peligros, riesgos y consecuencias sobre la salud de la exposición a estos nanomateriales no son del todo claros y muchos están aún por determinar. Varios son los efectos potenciales genéricos de los que habla la literatura. En primer lugar, debido a su pequeño tamaño, las nanopartículas o nanomateriales pueden ver incrementada la posibilidad de atravesar con mayor facilidad las barreras celulares pudiendo llegar más lejos que partículas más grandes. En segundo lugar, la toxicidad de partículas insolubles parece estar relacionada con el área superficial de las partículas. Los nanomateriales presentan un área superficial mayor que partículas más grandes de igual masa. Esto se traduciría en un incremento en su toxicidad. En tercer lugar, existen materiales fuera de la escala nano que son insolubles. Sin embargo, cuando se producen en el rango nanométrico incrementan su solubilidad y por tanto

235

esto aumentaría la biodisponibilidad dentro del organismo. En cuarto lugar, si estos nanomateriales presentan «nuevas» propiedades físico-químicas a diferencia de las mismas partículas de mayor tamaño, cabe pensar en la posibilidad de que esto vaya acompañado de «nuevas» propiedades toxicológicas. Por último, pero no por ello menos importante, otro efecto potencial, está relacionado con la estructura fibrosa que presentan ciertos nanomateriales, como por ejemplo los nanotubos de carbono, y que puede significar persistencia y acumulación en los pulmones y como consecuencia inflamación y enfermedad o posibles efectos cancerígenos (semejanza con los efectos producidos por las fibras de amianto y otras fibras minerales).

En relación con la seguridad de estas nanoestructuras, si atendemos a los factores o parámetros involucrados en las propiedades de ignición y explosividad de un material se piensa que algunos nanomateriales pueden ver incrementadas estas propiedades al presentar una mayor área superficial específica y por tanto pueden presentar mayor violencia explosiva. Y es posible además, que algunos nanomateriales puedan iniciar reacciones catalíticas dependiendo de su composición y estructura que no podrían ser anticipadas atendiendo exclusivamente a su composición química.

II. EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN

Hay estudios donde se hacen evidentes los posibles daños y efectos para salud de algunos de estos nanomateriales, como por ejemplo el estudio realizado por Andrew MAYNARD: *Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study*, Nature, mayo 2008 e *Induction of mesothelioma in p53+/- mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube* TAKAGI, A.; HIROSE, A.; NISHIMURA, T.; FUKUMORI, N.; OGATA, A.; OHASHI, N.; KITAJIMA, S.; KANNO, J. The Journal of Toxicological Sciences 2008, 33, 105-116, donde se sugiere que algunos tipos de los nanotubos de carbono (nanotubos de carbono de pared múltiple, MWCNT) pueden inducir los mismos efectos cancerígenos que el amianto si se inhalan en cantidades suficientes.

Frente a esta situación, y con el ejemplo de otros desastres a nuestras espaldas, cabría pensar que se debería aplicar el conocido «principio de precaución», tal y como recomiendan varias instituciones internacionales entre las que destacan NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) en su documento sobre propuestas iniciales a nanotecnología segura «*Approaches to Safe Nanotechnology*» y BSi (*British Standards*) en su publicación sobre guía del uso, manejo y gestión de residuos de nanomateriales, PD 6699-2:2007, «*Nanotechnologies – Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials*» entre otras.

En el más sentido estricto de la palabra, cabría pensar que el principio de precaución dentro de la exposición laboral sería evitar dicha exposición hasta que existan evidencias científicas que demuestren que es seguro trabajar con estos nanomateriales. Sin embargo, se viene entendiendo este «principio de precaución» como la aplicación de medidas y medios de control de la exposición, a pesar de la falta de evidencias científicas sobre la peligrosidad y efectos toxicológicos de estos nanomateriales.

BSi, recomienda considerar a todos los nanomateriales como potencialmente peligrosos hasta que haya suficiente información que demuestre lo contrario y por tanto, desarrollar e implantar las medidas necesarias de prevención y control en el lugar de trabajo.

III. ¿REGULADOS O NO REGULADOS? HE AHÍ LA CUESTIÓN

Con o sin evidencias sobre peligrosidad o inocuidad de los nanomateriales, la realidad es que ya se encuentran en el mercado. No sólo en laboratorios de investigación, si no que además ya se han incorporado a productos disponibles para los consumidores, en más de 1.000 productos y en una gran variedad de aplicaciones (construcción, robótica, tecnología, farmacia, medicina, cosméticos, comunicación, materiales, etc.).

A pesar de haberse desarrollado un nuevo marco regulativo dentro de la Unión Europea y aplicable a todos los Estados Miembros (*Reglamento CE núm. 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo*, conocido por su acrónimo en inglés REACH, sobre Registro, Evaluación y Autorización de sustancias químicas) estos nanomateriales se están comercializando fuera de este marco legislativo. Actualmente no existe ninguna regulación o legislación específica para estos nanomateriales. En un intento por aplacar la alarma social que se está despertando entre científicos, grupos sociales, sindicatos, academia y miembros del público general, la Comisión Europea lanzó una Comunicación [COM (2008) 366], «*Aspectos regulativos de nanomateriales*» donde menciona los diferentes marcos normativos que afectan a la fabricación, uso y comercialización de estos nanomateriales, entre los que menciona REACH, la directiva marco 89/391/EEC sobre la seguridad y salud de los trabajadores, la directiva 2001/95/EC sobre seguridad de productos y varias directivas medioambientales [entre ellas la Directiva 2008/1/EC (IPPC), sobre prevención y control integrados de la contaminación]. Según la Comisión, en sus conclusiones del comunicado, afirma que la legislación actual cubre en principio los riesgos sobre la salud, seguridad y medio ambiente asociados a los nanomateriales, aunque considera que la protección de la salud, seguridad y medio ambiente necesita principalmente incrementarse mediante una mejora en la implementación de la legislación vigente.

En diciembre del 2009, la Comisión Europea, tras haber terminado su Plan de Acción del 2005-2009, ha lanzado una consulta pública para el lanzamiento del Plan de Acción Estratégico sobre Nanotecnología sobre investigación, seguridad y salud y desarrollo sostenible de la misma, con el fin de recoger los diferentes puntos de vista y necesidades a desarrollar en esta área, pero todavía nada referente específicamente al área de normativa o legislación.

La realidad es que la falta de legislación específica en relación a los nanomateriales ha dejado «lagunas legales» que han permitido que el mercado florezca en este campo y que entren productos en el mercado sin haberse llevado a cabo ni evaluaciones de riesgos de usos, manejo, fabricación, utilización y producción sobre los mismos ni sobre aquellos productos que ya incorporan estas nanoestructuras y que carecen de todo tipo de identificación.

IV. PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS. PAUTAS GENERALES

Para hacer frente a toda esta situación, diferentes instituciones a nivel internacional se han puesto en funcionamiento y han desarrollado documentos con información sobre efectos potenciales de los nanomateriales, caracterización y guía para el uso y manejo de nanomateriales en el lugar de trabajo. Entre estas instituciones tenemos BAUA de Alemania, NIOSH y ORC de Estados Unidos, BSi, HSE y DEFRA de Reino Unido, INRSS de Francia, IRSST de Canadá, ISO, el Consejo Nórdico (Dinamarca) y la OCDE (internacional) entre otras.

Haciendo una síntesis de lo desarrollado en la literatura por estas y otras instituciones, teniendo en cuenta otras consideraciones en relación con la seguridad y salud de los/as trabajadores/as y atendiendo a nuestro marco legislativo y nuestra actual Ley de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL), vamos a ver cuáles serían las pautas generales orientativas sobre el uso, manejo y gestión de residuos de nanomateriales.

1. EVITAR LOS RIESGOS

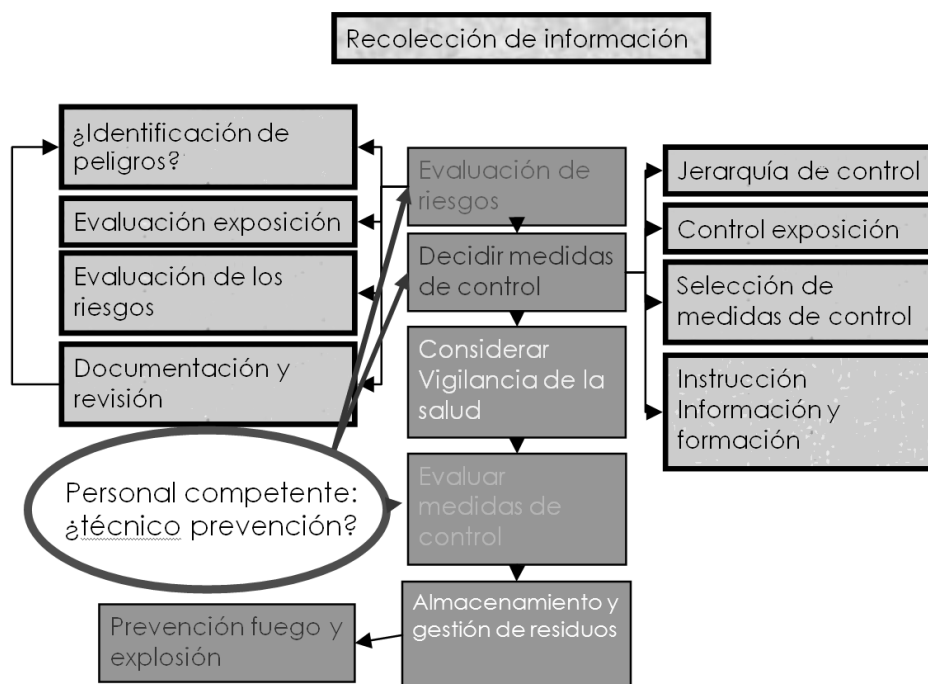
Según el apartado 1 del artículo 15 «*Principios de la acción preventiva*» de la Ley de Prevención 31/1995, el empresario aplicará las medidas que integran el deber general de prevención previsto en el artículo 14 con arreglo a unos principios generales, siendo el primero: Evitar los riesgos y el segundo: Evaluar los riesgos que no se puedan evitar.

Por tanto, antes de introducir los nanomateriales en el centro de trabajo, habría que plantearse si realmente no se podría evitar su uso en cumpli-

miento con el requerimiento establecido en la LPRL. ¿Es necesario el empleo de estos nanomateriales? ¿Se deberían permitir ciertos usos y prohibir o restringir otros? ¿Han consultado con los trabajadores? ¿Se han cuestionado esto las empresas cuándo ya lo han introducido en productos y en el mercado? La respuesta sería no si tenemos en cuenta el desequilibrio existente entre las inversiones dedicadas a la nanotecnología en sí misma y las inversiones destinadas a la seguridad y salud de los trabajadores y del medio ambiente.

2. GESTIÓN DE RIESGOS

Siguiendo con la perspectiva de la LPRL, cuando los riesgos no se han podido evitar, hay que proceder con la evaluación de los mismos. A continuación vemos de manera esquematizada el proceso de gestión y evaluación de riesgos:



Y de acuerdo con lo previsto en el artículo 33 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el empresario deberá consultar a los representantes de los trabajadores, o a los propios trabajadores en ausencia de representantes, acerca del procedimiento de evaluación a utilizar en la empresa o centro de trabajo.

2.1. *Recogida de información e identificación de peligros*

No hay estudios científicos suficientes que demuestren la peligrosidad o inocuidad, toxicidad y ecotoxicidad para todos y cada uno de estos nanomateriales, aunque si hay evidencias de ciertos efectos que se han visto en animales como daño pulmonar y cardiovascular entre otros para algunas de estos nanomateriales [CASTRANOVA, V. & SHVEDOVA, A. A. (2005); LI, Z., HULDERMAN, T., SALMEN, R., CHAPMAN, R., LEONARD, S. S., YOUNG, S. H., SHVEDOVA, A., LUSTER, M. I. and SIMEONOVA, P. P. (March 2007), Craig A. POLAND, Rodger DUFFIN, Ian KINLOCH, Andrew MAYNARD, William A. H. WALLACE, Anthony SEATON, Vicki STONE, Simon BROWN, William MACNEE & Ken DONALDSON (2008)]. Por esta razón se debe aplicar el principio de precaución y habrá que considerarlos como peligrosos hasta que haya información suficiente que demuestre lo contrario.

Durante el proceso de recogida de información, una de las principales fuentes utilizadas para la identificación de peligros hasta ahora eran las fichas de datos de seguridad (FDS) de las sustancias y preparados. A pesar de que ya se están empezando a encontrar FDS para nanomateriales, la información que aparece en las mismas es bastante escueta a falta de la obtención de resultados de estudios toxicológicos y ecotoxicológicos. Según el estudio realizado por el Consejo nórdico la clasificación y etiquetado en las FDS estaba ausente en una gran mayoría de ellas, las frases R eran inconsistentes entre grupos de FDS del mismo nanomaterial y en relación con el uso, manejo, medidas de prevención y control también existía una gran variabilidad.

La falta de estos estudios y datos sobre toxicidad dificultan el proceso de identificación de peligros. Es por ello, que se recomienda hacer una recopilación de toda la información posible en relación con las características y propiedades físico-químicas y recurrir a la literatura existente y todas las posibles vías de información (Internet, artículos científicos y otras publicaciones).

Una aproximación de la información que debería recogerse en relación con las propiedades de los nanomateriales sería la siguiente:

- Nombre comercial y técnico
- Información de la FDS donde exista
- Composición química, carga
- Tipo y proporción del nanomaterial (contenida en un producto)
- Forma del nanomaterial (si tiene estructura fibrosa, proporción longitud/diámetro)

- Capacidad «pulvígena» o de generación de polvo del material (del inglés dustiness)
- Solubilidad/liposolubilidad del material
- Distribución del tamaño de la partícula
- Área específica
- Características del material homólogo de mayor tamaño si existe

Y en general, toda aquella información que pueda ser útil para la evaluación de riesgos e identificación de peligros potenciales.

2.2. Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición identifica y caracteriza las posibilidades de la exposición, rutas de entrada y magnitud de la misma. Para caracterizar dicha exposición habrá que tener en cuenta:

- La información del producto que se está usando: propiedades, volumen o cantidad, tipo, forma de uso, si está incluido en una matriz líquida o sólida que impida su dispersión.
- Tipo de actividad: mantenimiento, producción, rellenado de tanques, limpieza, transvase, transporte, tareas donde pueda existir probabilidad de mayor exposición.
- Monitorización (contadores de partículas condensadas, muestreadores estáticos selectivos de tamaño, microscopía electrónica, impactadores de cascada de baja presión).
- Antes de introducir el nanomaterial, se debe monitorizar y realizar mediciones, con el fin de determinar aquellas nanopartículas (no manufacturadas) existentes en el aire para obtener el nivel de las mismas y poder establecer una comparativa tras introducir el nanomaterial (NIOSH 2007).
- Posibles rutas de entrada: inhalatoria, dérmica, ingestión.
- Personal potencialmente expuesto: número de trabajadores/as, personal de limpieza, mantenimiento, averías, emergencias, encargados. Consideración de personal especialmente sensible.
- Frecuencia de la exposición: permanente, temporal, esporádica, derrames o situaciones de emergencia.
- Posible localización y zonas de acumulación de los nanomateriales (esquinas, rendijas, superficies).

- Medidas de control existentes en cada una de las áreas y procesos.

Según NIOSH (2007), hay varios factores que pueden ocurrir en el lugar de trabajo y que pueden llevar a un incremento de la exposición potencial a nanomateriales:

- La generación de nanopartículas en fase gaseosa en sistemas no herméticos incrementará la posibilidad de liberación de aerosoles a la atmósfera
- Recoger, manejar y acondicionar nanomaterial en polvo llevará a la posibilidad de formación de aerosoles
- Trabajar con nanomateriales en matriz líquida durante operaciones de mezcla, rellenado o aquellas operaciones que impliquen un elevado grado de agitación, llevarán también a un incremento en la probabilidad de formación de nieblas que incrementan la inhalación de las pequeñas gotas de líquido.
- Las tareas de mantenimiento de equipo y las tareas implicadas en la producción o fabricación de nanomateriales supondrán un riesgo potencial de exposición para aquellos trabajadores/as que lleven a cabo dichas tareas.
- Las tareas de limpieza de los sistemas recolectores, filtrantes y de extracción de polvo utilizados para capturar nanopartículas también supondrán un riesgo potencial de exposición para aquellos trabajadores que realizan estas tareas.

Habrà, pues, que prestar atención especial a estos factores en los centros de trabajo. Así como de aquellas tareas que se realizan sobre productos finales (que incorporan nanomateriales) y que conllevan la generación de polvo como pulir, lijar, cortar, y operaciones donde se utilicen sistemas de alta presión o fuerzas mecánicas de alta energía.

Es importante también tener en cuenta aquellas situaciones que pueden llevar a derrames o escapes accidentales donde grandes cantidades de nanomateriales pueden liberarse.

2.3. Evaluación y caracterización del riesgo

Para llevar a cabo la caracterización del riesgo habrá que tener en cuenta los peligros potenciales de los nanomateriales mencionados anteriormente y la exposición, que determinará la probabilidad de que se produzca un daño y su estimada severidad.

A partir de ahí, si los riesgos son significativos o pudieran llegar a serlo deberán tomarse las medidas y precauciones adecuadas.

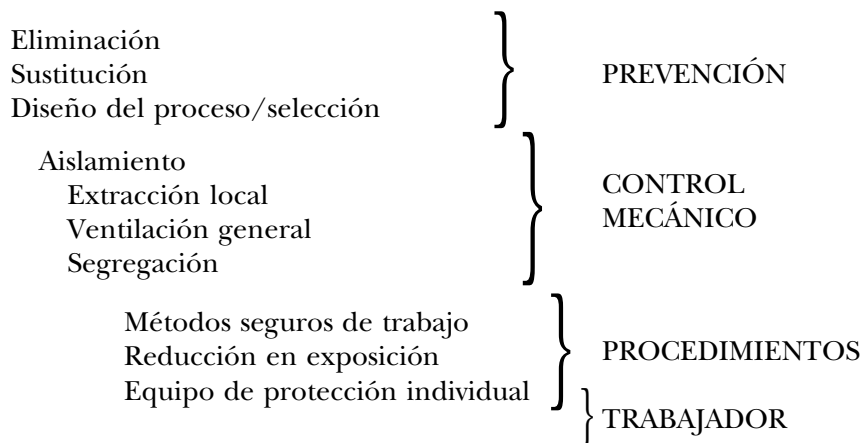
Una vez determinados los riesgos es probable que todos no puedan abordarse al mismo tiempo y haya que establecer un orden de prioridades en función de:

- aquellos riesgos que sean más graves para la salud de los trabajadores y medio ambiente
- aquellos que tengan probabilidad de ocurrir más rápidamente, es decir, más pronto
- aquellos que se puedan afrontar inmediatamente o en la menor brevedad de tiempo.

2.4. Documentación y revisión

Es fundamental, cuando estamos hablando de nanomateriales, que toda la información sea revisada, documentada y actualizada periódicamente. Esto es debido a que el campo de la nanotecnología y la nanociencia está avanzando de manera vertiginosa y cada día aparecen nuevos artículos. Al mismo tiempo, se celebran un gran número de congresos, seminarios, conferencias, jornadas y cursos cuya información puede resultar muy valiosa en relación a la seguridad y salud de los nanomateriales y que, aunque muy lentamente, van rellenando esas lagunas de conocimientos existentes sobre los mismos.

2.5. Procedimientos de control de la exposición



La exposición debería evitarse, preferiblemente evitando el uso del nanomaterial potencialmente peligroso o sustituyéndolo por otro menos peligroso o por procedimientos técnicos que eliminen o reduzcan el riesgo.

Si esta exposición no se puede evitar debería ser controlada de manera adecuada. Desde la fase de diseño del proceso, deberían ser contempladas en el mismo las medidas técnicas adecuadas.

Existe documentación a modo de guía para ayudar a elegir este tipo de medidas técnicas de control mecánico teniendo en cuenta diferentes variables que afectan la exposición y el riesgo. Veamos algunos de estos sistemas de selección:

2.5.1. *Matriz de bandas de control («Control Banding approach»)*

Controlar la exposición, dadas las lagunas de conocimiento e información existente sobre los riesgos asociados a la exposición laboral, se complica a la hora de establecer los niveles y medidas de control que se deben adoptar. Se recomienda por ello adaptar y elaborar estos niveles y medidas en función de la tarea, proceso, exposición, material y todas las variables y factores que se han mencionado anteriormente.

Varios programas se están utilizando a la hora de establecer estas medidas de control. Entre ellas están el sistema británico COSHH Essentials elaborado por el HSE (Health and Safety Executive).

Este sistema se divide en cinco etapas, siendo las tres primeras las que se relacionan directamente con las pautas de las medidas de control:

- Primera etapa: recogida de información e identificación del material
- Segunda etapa: factores implicados en la elección de las medidas de control
- Tercera etapa: Selección de las medidas de prevención y control

La segunda etapa es la que especifica y categoriza los peligros inherentes al material, en nuestro caso nanomaterial o nanoestructura. Utiliza además como variables, la cantidad de material utilizado y el grado de volatilización o grado de formación de polvo (del inglés dustiness).

Una vez se integran estas variables en una matriz de bandas de control nos da como resultado el nivel o grado de control o prevención que se debería aplicar. Esta matriz presenta cuatro niveles de control:

- Ventilación general
- Control técnico o medidas técnicas
- Encerramiento/aislamiento
- Asesoramiento técnico y/o búsqueda de personal especializado

Además aconseja sobre cómo controlar el riesgo en función del uso y de la tarea.

Otros sistemas similares a éste son los desarrollados por la BAuA alemana (Instituto Federal Alemán de seguridad y salud laboral), el Stoffenmanager holandés y el desarrollado específicamente para nanomateriales por Andrew MAYNARD (2006):

Índice de exposición:						
INDICE DE EXPOSICIÓN						
	A	B	C	D	E	
A						
B						
C						
D						
E						

Índice de exposición:
 • Ambiente
 • Cantidad usada
Índice de impacto:
 • Peligro del material
 • Superficie/área
 • Actividad de la superficie
 • Tamaño
 • Forma

A.D. Maynard

Medida de control

☐ Ventilación	☐ Encerramiento/contención
☐ Medidas técnicas	☐ Especialista

El buen funcionamiento y efectividad de las mismas no termina únicamente en su instalación. Una vez elegidas e implantadas estas medidas técnicas hay que asegurar el adecuado uso y mantenimiento.

2.5.2. ¿Son suficientes las medidas técnicas?

Según las organizaciones que están estableciendo planes y guías para el manejo seguro de nanomateriales la implantación de medidas técnicas no es suficiente. Se deberían establecer unos programas de medidas explorando todas las posibilidades existentes y la utilización de una combinación de varias simultáneamente para asegurar que los riesgos se minimicen todo lo posible. Además, existe el deber legal de contar con los trabajadores y/o sus representantes a la hora de establecer y seleccionar todas las medidas de prevención y control.

Se presentó un estudio en el Congreso Europeo sobre la Seguridad y Salud de las Nanotecnologías por Markus BERGER (BG-Instituto de seguridad y salud laboral-BGIA) en diciembre de 2007, en el que se habían comparado las diferentes pautas establecidas por varias instituciones a nivel internacional

sobre seguridad y salud de nanotecnologías. Entre ellas, varias de las mencionadas anteriormente en el texto: NIOSH, BAuA, SUVA, el programa marco de Nano Riesgos de Dupont, HSE.

Estas estrategias, aunque específicas para nanomateriales, no se diferencian enormemente de lo marcado para otros agentes químicos peligrosos en nuestra LPRL y el RD 374/2001 sobre exposición a agentes químicos peligrosos. Como ya hemos visto, y siguiendo la jerarquía de control, los primeros pasos a seguir siempre son la eliminación y la sustitución. Si la eliminación no fuese posible, proseguiríamos con la sustitución, entendiéndose así el intercambiar una sustancia por otra o por otro proceso químico. Cabe plantearse, que si no se conocen a ciencia cierta los peligros de los nanomateriales, ¿cómo se interpreta aquí la sustitución? ¿sería un nanomaterial por otro o por una sustancia fuera de la escala nano? ¿cómo se compara la peligrosidad si se desconoce?

Cuando la naturaleza de la actividad no permite ni la eliminación ni la sustitución se marcan las siguientes pautas:

- *Contención/encerramiento*: aislamiento de la fuente de emisión y de las instalaciones.

- *Medidas técnicas*: reducción de la cantidad de material utilizado; sistemas de extracción con filtros de alta eficacia (HEPA) de material fibroso (según un informe del proyecto NanoSafe del Sexto Programa Marco de la Comisión Europea); utilización de procesos que eviten o disminuyan la formación de polvo.

- *Medidas organizativas*: reducción del personal expuesto, reducción del tiempo de trabajo; restricción de acceso a las zonas donde se utilicen los nanomateriales; permisos de trabajo; formación e información; implicación de trabajadores/as y sus representantes en todo el proceso de organización y selección de medidas.

- *Buenas prácticas de trabajo*: limpieza de la zona de trabajo después de cada jornada mediante aspiradoras dotadas de filtros HEPA, evitar barrido y formación de polvo, métodos húmedos de limpieza, evitar sistemas de aire comprimido para limpieza, prohibición de comer y beber en el puesto de trabajo, instalaciones adecuadas de aseo personal y cambio de ropa de trabajo.

- *Equipos de protección individual*: según los resultados del proyecto Nanosafe (parte del programa marco de la Unión Europea FP6) publicados en su informe de enero de 2008, en el que se hicieron pruebas con diferentes materiales utilizados en equipos de protección, los filtros fabricados de mate-

rial fibroso son efectivos para retener nanopartículas, atendiendo al movimiento browniano de las partículas. Es por ello que se recomienda que se utilice este tipo de material en filtros de equipos de extracción y equipos de protección respiratoria (para aquellas actividades donde el equipo de protección individual sea la única o la alternativa más aceptable) sea de este tipo de material. Por tanto, serán P3 o FFP3, de celulosa o fibra de vidrio.

En relación a la ropa de trabajo, los tests que se llevaron a cabo con nanopartículas de grafito mostraron que la ropa de protección fabricada con tejido de alta densidad de polietileno parece tener mejores resultados que aquellos fabricados con tejido de algodón y papel. Y en relación con la posible protección ofrecida por los guantes, el resultado llevado a cabo con el mismo tipo de nanopartículas, muestra que las nanopartículas difunden a través de cualquier tipo de guante. Parece ser que el vinilo es el material que difunde más lentamente. Es importante además contemplar en los guantes el proceso de elaboración de los mismos y el grosor. Es recomendado utilizar doble capa de guantes.

2.6. Vigilancia de la salud

No se han desarrollado protocolos específicos sobre la vigilancia de la salud de los trabajadores/as. Es difícil establecer estos protocolos cuando se desconocen todos los efectos que cada uno de estos nanomateriales pueden tener sobre los humanos. Sin embargo, la constante vigilancia de la salud juega un papel muy importante a la hora de determinar posibles cambios fisiológicos, síntomas y/o alteraciones en la salud de los trabajadores/as. Todos los lugares de trabajo en los que se introduzcan nanomateriales deberían desarrollar programas específicos de vigilancia médica. NIOSH está desarrollando un programa sobre vigilancia de la salud que sirva de guía dada la inexistencia de algo más específico para los nanomateriales.

Un posible enfoque de la vigilancia de la salud sería:

- Considerar la exposición al material fuera de la escala nano, aunque ya sabemos que esto no es completamente adecuado.
- Recoger información sobre el nanomaterial usado y tiempo de exposición para construir un perfil en caso de aparecer síntomas y establecimiento de un punto inicial de la salud de los trabajadores/as antes de estar expuestas para detectar después posibles cambios sobre la misma.
- Crear una biblioteca con el fin de poder facilitar la elaboración en el tiempo estudios epidemiológicos.

2.7. *Almacenamiento anterior a la eliminación y eliminación*

Pautas para la recolección de residuos que contienen nanomateriales:

a) Almacenamiento en contenedores: los residuos deben ir en contenedores adecuados, estancos o herméticos que no permitan que el nanomaterial pueda ser liberado. Además deberían ser etiquetados con una descripción del material que contiene y toda la información relevante del material sobre propiedades y características del mismo.

b) Almacenamiento en bolsas de plástico: recoger todos los trapos, papeles, mascarillas, ropa de trabajo desechable y otros artículos contaminados con nanomateriales en bolsas que se puedan sellar dentro de una campana de extracción y cuando ésta se llene introducirla en otra bolsa o contenedor evitando contaminación exterior y etiquetarlo de la misma forma que los contenedores.

En relación a la eliminación de estos residuos también se desconocen cómo se deberían tratar este tipo de residuos. La única consideración evidente es la de tratarlos como residuos peligrosos y, por ejemplo, la Agencia británica de Medio Ambiente establece categorías de residuos en función de si son orgánicos o inorgánicos y ésta podría ser una primera división. Además, han comunicado un posible tratamiento para residuos que contienen nanotubos de carbono no incluidos en ninguna matriz, y por tanto posibilidad de ser inhalados, y es el de incinerarlo por encima de 850 grados centígrados o tratarlos químicamente de tal forma que se destruya su estructura nanodimensional.

La falta de información sobre la peligrosidad de nanomateriales vuelve a hacer patente la presencia de estas lagunas de conocimiento y por tanto la necesidad de incrementar la investigación orientada a proteger la salud de los trabajadores/as y del medio ambiente y una ralentización de la industria y mercado de este tipo de materiales.

2.8. *Formación e información*

Como ya se ha mencionado al inicio del capítulo, sin la participación competente, informada y activa de los trabajadores, la gestión y evaluación de riesgos, cualquier medida de prevención y control y cualquier otro plan o programa de gestión en torno a los nanomateriales será poco probable que sean efectivas. Por ello se reitera la necesidad de participación y consulta de los trabajadores.

A pesar de la obligación legal impuesta por la LPRL, esta consulta y participación no debería verse como una imposición o un simple trámite

legal, sino porque realmente es necesaria para una gestión efectiva dentro de la empresa. Además, si algo tienen en común todas las instituciones mencionadas anteriormente con carácter internacional, es que todas ellas (Consejo nórdico, NIOSH, HSE, BSi, ORC, BAuA, BGIA entre otras) recomiendan y exigen la participación de los trabajadores, y que toda gestión de riesgos, eliminación, evaluación, planes de residuos, serán inefectivos si no se cuenta con los y las trabajadores/as.

Para esta participación se necesita por tanto una formación adecuada de los trabajadores. Además, ¿qué información deberían tener disponible los/as trabajadores/as? Entre otras cosas:

- Nombres de las sustancias a las que están expuestas y peligros
- Cualquier límite de exposición relevante aunque no estén legalmente establecidos
- Información que aparece en las FDS, asegurar el correcto entendimiento
- Informarles sobre los resultados de la evaluación de riesgos y cualquier resultado de muestreos
- Precauciones que han de tener en cuenta
- Instrucciones de trabajo
- Equipos de protección

Y toda la información que pueda ser necesitada con el fin de asegurar, dentro de la medida de lo posible, un adecuado uso y manejo de nanomateriales.

2.9. Fuego y explosión

Volvemos de nuevo a la falta de información sobre la violencia explosiva y de ignición de los nanomateriales y esto nos lleva al principio de precaución. Las recomendaciones que se manejan a la hora de establecer medidas de precaución son las siguientes:

- Las nubes de polvo serán difíciles de visualizar
- Diseño de equipo eléctrico protegido para el polvo
- Reducción de posibles fuentes de ignición
- Las nanopartículas de metales y óxidos de metales pueden explosionar en contacto con el aire: principio de precaución: utilización de atmósferas inertes, atmósferas controladas en zonas de manejo y almacena-

miento (Hay que tener especial cuidado con este tipo de atmósferas ya que tienen peligro de reducción de oxígeno)

- Existe una necesidad de más estudios específicos sobre riesgos de explosión
- Utilización de calzado anti-estático para evitar electricidad estática y posible fuente de ignición

2.10. *Personal competente: ¿el técnico de prevención?*

Hasta ahora no se incluye en los cursos de formación de técnicos de prevención nada referente a nanomateriales. Si todas las agencias e instituciones (políticas y sociales) recomiendan personal especializado en este campo para el desarrollo de los planes de gestión de riesgos y no tenemos disponible actualmente ningún tipo de formación al respecto, ¿quién va a llevar a cabo la gestión de la prevención de exposición a nanomateriales? ¿Sobre quién caería la responsabilidad de desarrollar este tipo de formación? Cabría pensar que dada su evolución en el mercado y en los lugares de trabajo deberían desarrollarse programas específicos para preparar a los técnicos encargados de llevar a cabo la prevención en las empresas en este tema si actualmente no lo están. Además, cualquier tipo de formación debería contemplar la actualización continua y renovación del conocimiento en función de la aparición de nuevos estudios sobre peligrosidad y toxicidad de los nanomateriales.

Si ya se han incorporado en productos y por tanto en lugares de trabajo y no existe personal especializado para llevar a cabo estas evaluaciones, ¿quién está protegiendo la seguridad y salud de los trabajadores en los centros de trabajo y en centros de investigación? ¿Qué medios y medidas de prevención y control están utilizando? ¿Tienen conocimiento sobre lo que manejan y cuáles son los riesgos potenciales que entrañan? ¿Es posible que esté en juego su salud y seguridad?

V. CONCLUSIONES

Un resumen de lo visto a lo largo del capítulo y a modo de recordatorio y síntesis, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- No existen suficientes datos de toxicidad y por tanto no hay una clara identificación de peligros.
- Los datos existentes suscitan una elevada preocupación [POLAND y MAYNARD (2008) semejanza entre Nanotubos de carbono y amianto].

– Ha habido una puesta en el mercado de estas sustancias sin haber sido previamente evaluadas.

– Las inversiones tecnológicas superan a las inversiones seguridad y salud y esta diferencia se está incrementando cada vez más.

– REACH puede dejar fuera a muchos de estos materiales y no existe Regulación específica para los mismos y la que se menciona que existe es insuficiente.

– En el proceso de gestión de riesgos la recolección de información es fundamental para el proceso de evaluación de riesgos.

– Principio de precaución: considerar los nanomateriales como peligrosos hasta que se recojan suficientes evidencias de lo contrario.

– Existe una necesidad de caracterización de los nanomateriales (entre los producidos artificialmente y de manera natural: humos diesel, emisiones).

– Se deberán integrar planes de Seguridad y Salud desde la fase de diseño (encerramiento, evitar la liberación del contaminante) para una adecuada gestión de riesgos y es muy importante la participación de los trabajadores/as y/o sus representantes en todo el proceso de gestión e integración.

– Es necesario el desarrollo de planes específicos sobre la seguridad de estos materiales.

– Utilización simultánea y combinada de medidas de control y aplicación de las mismas de manera específica. Se deben establecer programas de control de dichas medidas.

– Es necesaria y fundamental la participación, formación e información de los/as trabajadores/as.

– Desarrollo de planes específicos de emergencias y asignación de trabajadores (lo que conlleva una necesidad de formación específica).

– Desarrollo de instrucciones, planes y protocolos de trabajo.

– Establecimiento de planes de gestión de residuos y materiales contaminados con nanomateriales.

– Deberá realizarse una actualización y documentación de la información.

Lo que ha quedado claro es que todavía queda mucho trabajo por hacer, tanto a nivel institucional, como legislativo, empresarial, científico, sindical, social y académico. Habrá que ir rellenando esas lagunas existentes y a ser posible en la mayor brevedad posible, empezando por ralentizar y regular el

mercado antes de que las consecuencias de esta imprudente puesta en marcha puedan llevar a resultados catastróficos. Habrá que facilitar el acceso a la información, divulgación de la misma a todos los niveles sociales, incrementar las inversiones en seguridad y salud de estos nanomateriales y establecer diálogos sociales entre todas las partes interesadas con el fin de proteger la salud y seguridad, no sólo de los trabajadores, sino también del medio ambiente y de los consumidores.

BIBLIOGRAFÍA

BERGES, M., *Presentation at the EuroNanOSH 2007 Conference: Control technologies to prevent exposure to nanoparticles.*

Characterising the potential risks posed by engineered nanoparticles. A second UK Government Research Report. HM Government, www.defra.gov.uk.

Craig A. POLAND, Rodger DUFFIN, Ian KINLOCH, Andrew MAYNARD, William A. H. WALLACE, Anthony SEATON, Vicki STONE, Simon BROWN, William MACNEE & Ken DONALDSON, *Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study*, *Nature Nanotechnology* 3, 423-428 (2008)].

Guidance on the labelling of manufactured nanoparticles and products containing manufactured nanoparticles, PAS 130:2007 BSi.

ISO/TC 229 N 230 Nanotechnologies.

KISIN, E., JURRAY, A. R., JOHNSON, V., GORELIK, O., AREPALLI, S., GANDELSMAN, V. Z., HUBBS, A. F., MERCER, R. R., BARON, P. KAGAN, V. E., CASTRANOVA, V. & SHVEDOVA, A. A. (2005), *Pulmonary toxicity of carbon nanotube*, *Toxicologist*, 84 (Suppl 1), 212.

LI, Z., HULDERMAN, T., SALMEN, R., CHAPMAN, R., LEONARD, S. S., YOUNG, S. H., SHVEDOVA, A., LUSTER, M. I., and SIMEONOVA, P. P. (March 2007). *Cardiovascular Effects of Pulmonary Exposure to Single-Wall Carbon Nanotubes*, *Environmental Health Perspectives*, 115:3.

Literature review – explosion hazards associated with nanopowders HSL/2004/12. Health and Safety Laboratory, UK.

MARK, D., *Presentation at the EuroNanOSH 2007 Conference. Managing nanotechnology risks to workers: integration of health and safety into the workplace.*

MAYNARD, A. D., *Nanotechnology: The next big thing or much ado about nothing?*, *Ann. Occup. Hyg*, Vol. 51.

NANOSAFE, *Efficiency of fibrous filters and personal protective equipments against nanoae-*

rosols. *European Integrated Project supported through the Sixth Framework Programme for Research and Technological Development*, January 2008.

— *Safe production and use of nanomaterials. European Integrated Project supported through the Sixth Framework Programme for Research and Technological Development*, newsletter 2, february 2008.

Nanotechnologies – Part 1: Good practice guide for specifying manufactured nanomaterials. PD 6699-1:2007.

Nanotechnologies – Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. PD 6699-2:2007 BSi.

NIOSH, *Approaches to Safe Nanotechnology: An information exchange with NIOSH*, 2007.

RAGOT, J., *Presentation at the EuroNanOSH 2007 Conference, Integrating safety into nanomaterial production – Key to succes.*

SCHNEIDER Thomas *et al.*, *TemaNord 2007-581: Evaluation and control of occupational health risks from nanoparticles.*

SILBERGELD, E., *Presentation at the EuroNanOSH 2007 Conference. Looking as we leap: prudent risk assessment for nanotechnologies.*

WITSCHGER, O., *Presentation at the EuroNanOSH 2007 Conference: Assessing inhalation exposure to nanoaerosols in the workplace.. www.naneum.com*

La vida en una nanocasa. Efectos socioambientales de las nanotecnologías

JOSÉ MANUEL DE CÓZAR ESCALANTE

SUMARIO.—I. NANOPARTÍCULAS PARA EL LADRILLO.—II. CÓMO SERÁ NUESTRA NANOCASA.—IV. LA INVISIBILIDAD DEL RIESGO NANOTECNOLÓGICO.—V. LAS REPRESENTACIONES DE LA NANOCASA.—VI. EL DERECHO A ELABORAR REPRESENTACIONES ALTERNATIVAS DE LAS NANOTECNOLOGÍAS.—BIBLIOGRAFÍA.

I. NANOPARTÍCULAS PARA EL LADRILLO

Así rezaba el titular de una noticia aparecida hace algún tiempo en un conocido periódico de ámbito nacional¹. Se informaba al lector sobre las actividades de una empresa gallega, perteneciente al selecto —por reducido— grupo de las pequeñas y medianas empresas de nuestro país que se dedican exclusivamente a la nanotecnología. La empresa en cuestión produce materiales nanotecnológicos para la construcción, que, a falta de clientes de nuestro territorio, exporta a otros países. Interesada en buscar clientes en nuestro suelo para sus nanopartículas metálicas (de aplicación en pinturas y recubrimientos diversos), un responsable de la empresa declaraba que aquí «todavía estamos en la fase de la expectación que levanta la nanotecnología». El sector español de la construcción, por lo que parece, prefiere métodos y materiales más tradicionales. Sin embargo, quién sabe si la crisis que viene padeciendo no servirá de impulso para la búsqueda de soluciones novedosas, aunque eso sí, bastante caras para el bolsillo del consumidor.

En realidad, las cosas no están para tomárselas demasiado a broma. ¿Cómo hemos de tomarnos la iniciativa que pasamos a comentar? Mientras tanta gente dentro y fuera de nuestras fronteras se las ve y se las desea para

1. «Nanopartículas para el ladrillo», El País, 18 de julio de 2008.

poder pagar su hipoteca, un selecto grupo de científicos, ingenieros y arquitectos se ha puesto a la tarea de diseñar «nanocasas». No es que pretendan hacer una casa diminuta, de escasísimos metros cuadrados. Se trata más bien de delinear una vivienda que sea construida y equipada con lo último en nanomateriales y nanodispositivos.

Como soñar no cuesta nada, imaginemos cómo podría ser el vivir en una nanocasa. Para describirla, podemos usar el tiempo verbal futuro, como gustan de hacer los entusiastas de las nuevas tecnologías².

II. CÓMO SERÁ NUESTRA NANOCASA

Para empezar, tendrá una estructura muy ligera pero en extremo resistente, que la hará segura y duradera. Además, nuestra vida en ella será cómoda, muy apta para gente perezosa. Disfrutaremos de materiales tales como polímeros, nano-adhesivos, fibra óptica o aerogeles, que aislarán el interior de la vivienda térmica y acústicamente, y lo harán de una manera altamente eficaz. También habrá revestimientos, paredes y cristales que jamás se mancharán, rallarán ni sufrirían corrosión. Incluso nos protegerán de los dañinos rayos ultravioleta y de las bacterias.

Una casa así, tan «high-tech», tiene que ser, por supuesto, «inteligente». Esto quiere decir que la casa se ocupa por sí misma de muchas tareas, tareas «delegadas» por quien la habita. Para asumir esa delegación, la vivienda contará con multitud de sensores y dispositivos automáticos de control. A la familiar alarma anti-robo se añadirá toda una gama de sofisticadas alarmas anti-gas, anti-incendios, etc. Pero tales artilugios, al fin y al cabo, son ya cosa conocida. ¿Qué diríamos si la casa controlara, para nuestro confort, las condiciones ambientales internas, como la temperatura, la humedad, la iluminación, el flujo de aire y su calidad? Pero esto no es nada. La casa también nos avisará de que la comida está a punto de estropearse. Mejor aún, nos la preparará –o al menos nos ayudará a prepararla– con la ayuda de electrodomésticos de ensueño.

-
2. Esta descripción (junto a la tabla que sigue) se ha elaborado a partir de las informaciones contenidas en varias páginas web. Entre otras: Institute for Nanoscale Technology, University of Technology Sidney (<http://www.nano.uts.edu.au/about/australia.html>), Nanoarchitecture.net (<http://www.nanoarchitecture.net/>); Houses of the future (http://www.housesofthefuture.com.au/hof_houses06.html); Green Technology Forum (<http://www.greentechforum.net/>); Horizont Zero, issue 14, March/April (2004) Dream: speculating the nanotech home of the future (<http://www.horizonzero.ca/index.php?pp=26&lang=0>). Véase también RITTER (2007). En JOHANSEN (2002) se encuentra una visión de un arquitecto sobre «nanoarquitectura».

Con paneles solares mejorados, que cubrirán el techo por completo, nuestra casa producirá y almacenará energía de sobra para cubrir todas estas necesidades. El agua será purificada y reciclada, los desechos tratados convenientemente.

Un último conjunto de artefactos acabará de hacer nuestra vida más agradable: productos electrónicos de altas prestaciones para poder ver imágenes de alta calidad, navegar a velocidad de vértigo por internet, comunicarnos con nuestros amigos y, en fin, escuchar nuestra música favorita.

Y –no faltaba más– la casa misma se encargará de la limpieza.

Tabla 1. Principales características de una nanocasa

Materiales	Aislamiento: cristal, revestimientos, aerogel, etc. Revestimientos: que se limpian a sí mismos, anti-manchas, descontaminantes, resistentes a las ralladuras, anti-niebla, anti-corrosión, anti-bacterianos, protección UV. Otros materiales: polímeros plásticos, nano-adhesivos, fibra óptica, nuevos materiales estructurales...
Sensores	Alarmas (intrusos, fugas de gas, detección de incendios, etc.). Para controlar las condiciones físicas dentro de la casa (temperatura, humedad, iluminación, flujo de aire, purificación del aire) y otras actividades (limpieza, estado y preparación de la comida, etc.).
Otro equipamiento	Producción y almacenamiento de energía (paneles solares optimizados nanotecnológicamente...). Sistemas de purificación del aire y del agua. Electrodomésticos (aparatos tales como monitores, equipos multimedia, electrodomésticos para la cocina, sistemas de comunicación, etc.).

III. COSAS INVISIBLES DENTRO Y FUERA DE NUESTRA CASA

Una casa como la descrita parece una vivienda de ensueño. Muchos afirmarían que reúne todos los requisitos imaginables para vivir bien. Además, es muy eficiente desde el punto de vista energético, lo cual nos hace ahorrar dinero y encima sentirnos satisfechos por contribuir a la «sostenibilidad» ambiental y combatir el cambio climático. Sin embargo, cosas invisibles, cosas que no percibimos, están ocurriendo en el interior y en el exterior de nuestra casa (DE CÓZAR, 2007).

Los procesos y materiales nanotecnológicos lo son precisamente por tener lugar y organizarse a una escala inimaginablemente pequeña (la nanoescala). Es una escala literalmente invisible para el ojo humano, a no ser que se le ayude con instrumentos de una extraordinaria complejidad técnica. Como las representaciones de los nano-objetos son percibidas por la mediación de dichos instrumentos, es ya de suyo problemático sostener que los estamos «viendo» o «percibiendo», al menos en el sentido usual de estas palabras (PITT, 2005). Por añadidura, para el público no formado no es tarea sencilla comprender las teorías científicas en que se basan las nanotecnologías, entre otras cosas porque la ciencia moderna hace un uso intensivo de matemáticas complejas. Las abstracciones científicas se alejan cada vez más del mundo cotidiano mediante procesos de «modelización» y «virtualización». A pesar de estas dificultades de comprensión, no todos los expertos en nanotecnología cuentan con las habilidades necesarias (o con la voluntad) para comunicarse con éxito con los profanos. La información no llega siempre, o de manera suficiente, al público. En su lugar, a menudo encontramos una retórica exagerada, «hiperbólica», a favor o en contra de la nanotecnología (BERUBE, 2006). En otros casos, la carencia de información se encuentra ligada directamente al secretismo de algunas áreas de investigación e innovación, ya sean militares, relativas a la seguridad nacional o al sector privado. Por ejemplo, hay diversos proyectos en marcha, incluso en nuestro país, para desarrollar materiales «invisibles», que impidan que los soldados, las armas, o incluso los aviones y los submarinos, sean detectados por el enemigo. Aunque tenemos acceso en los medios de comunicación a ciertas informaciones al respecto, es obvio que los detalles relevantes se nos ocultan, a fin de mantener la ventaja que supone contar con tales dispositivos.

A ello se suma el hecho de que, si bien contamos ya con cientos de productos nanotecnológicos en el mercado, la mayor parte de ellos se incorporan a otros ya existentes, de manera que los nano-componentes no son en general visibles para los consumidores. La ausencia de «productos estrella» —productos nanotecnológicos de gran impacto— hace que hasta el momento los ciudadanos tengan dificultades para visualizar la manera mediante la cual la nanotecnología está transformando su cotidianeidad. Pero si la nanotecnología permanece en un plano invisible, el público puede reaccionar con hostilidad contra unas aplicaciones que tal vez se tornen visibles de maneras inapropiadas: como riesgos toxicológicos o ecotoxicológicos, por ejemplo. Por otro lado, muchos críticos se quejan de que las nanotecnologías se impongan sin un debate público y sin una toma de decisiones transparente, habida cuenta de que dichas aplicaciones se harán, más pronto o más tarde, altamente visibles en términos de consecuencias de importancia (DE CÓZAR,

2009, 2009b). Seremos testigos de cambios dramáticos en los sectores productivos y en su peso económico relativo, tanto en la economía interna como en las relaciones económicas internacionales. Igualmente pueden verse afectadas las costumbres, el ocio y las interacciones personales. O quizás padezcamos la proliferación de nuevas armas que aumenten espectacularmente el poderío militar de unos pocos países ya de por sí muy poderosos, pero que simultáneamente incrementen la gravedad de la amenaza terrorista³.

Al fin y al cabo, esta invisibilidad de la nanotecnología no es ajena a lo que sucede con la mayor parte de las tecnologías modernas. Por lo común, no somos conscientes de cómo median nuestra existencia; más bien, y en relación con las innovaciones que nos rodean, actuamos como verdaderos «sonámbulos tecnológicos» (WINNER, 1987, p. 26): nos movemos entre ellas sin apenas percibir las, a no ser que se produzca algún fallo técnico, un accidente o, en el peor de los casos, algún tipo de catástrofe. Entonces nos volvemos dolorosamente conscientes de nuestra dependencia tecnológica. Un corte en el suministro eléctrico, una caída de las comunicaciones, un embotellamiento masivo, un ataque terrorista, un accidente aéreo, son acontecimientos que nos recuerdan súbitamente que vivimos en una tecnoesfera.

IV. LA INVISIBILIDAD DEL RIESGO NANOTECNOLÓGICO

¿Dónde nos sentimos más seguros que en nuestra propia casa? Una sensación poco justificada, puesto que es en el hogar donde se producen gran parte de los accidentes graves. Caídas, incendios, electrocuciones, son peligros reales, pero que rara vez nos preocupan. Más bien, es el «mundo exterior» el que nos amedrenta, repleto de desastres naturales, crisis económicas, accidentes tecnológicos, alarmas alimentarias y atentados terroristas. Y ni siquiera todo. No estamos «programados» para alarmarnos por aquello que no percibimos. Sabemos, por las informaciones que nos llegan, que aspiramos a diario partículas ultrafinas, producto de las emisiones contaminantes de automóviles y fábricas, sin mencionar las que provienen de fuentes naturales. En un sentido literal, lo nanotecnológico nos envuelve y penetra en nosotros. Ahora bien, las nanopartículas resultan invisibles debido a su diminuto tamaño. Si nos detenemos a pensarlo, sabemos que nos están dañando, pero, con excepciones, ni nos atemorizan en exceso ni estimulan en nosotros la voluntad suficiente como para presionar enérgicamente a las autoridades con el fin de que las controlen con mayor severidad. Igualmente, tenemos

3. Sobre los usos militares de la nanotecnología puede verse el capítulo 2 del libro de Toby SHELLEY.

problemas para evaluar racionalmente lo que es invisible por encontrarse muy lejano en el espacio o en el tiempo. En pocas palabras, lo que está fuera de la vista no nos suele preocupar (HOMER-DIXON, 2007, p. 136) y por tanto hacemos poco o nada por solucionarlo. Es cierto que el bombardeo mediático sobre la escala global de los riesgos está haciendo que, lentamente, lo sabido objetivamente penetre en nuestros recovecos mentales de carácter más «emocional». De una manera un tanto confusa comenzamos a «interiorizar» que los agentes contaminantes en el agua, el aire y el suelo, las pandemias, las armas químicas y bacteriológicas, los cambios bruscos del clima, suponen un conjunto de amenazas que cruzan con facilidad las fronteras de nuestros países, y lo que es más inquietante, que pueden traspasar nuestra preciada seguridad hogareña.

El sociólogo Ulrich BECK ha dedicado dos décadas a analizar y describir el tipo de sociedad en la que nos encontramos cada vez más inmersos: una sociedad del riesgo global⁴. Para BECK, las ciencias, con sus «técnicas de visibilización», han puesto en cuestión el principio fundamental según el cual, dado que no veo ningún riesgo, no existe ninguno. Más investigación científica no disminuye necesariamente el nivel o la variedad de los riesgos de nuestras sociedades, pero al menos agudiza la conciencia del mismo, lo torna más visible (BECK, 2008, p. 26).

Ahora bien, el caso de la nanotecnología es ambivalente en este punto. Por un lado, es indudable que dispositivos nanotecnológicos –como los nanosensores de diversos tipos que en la actualidad se están perfeccionando– permitirán muy pronto detectar con mayor precisión y rapidez determinados riesgos ambientales y sanitarios. Como hemos visto, nuestra casa dispondrá de sensores que nos adviertan de intrusos, incendios, contaminación del aire, del agua o incluso caducidad de los alimentos que guardemos en nuestra nevera. En este sentido, la nanotecnología puede ayudarnos a hacer visibles los riesgos y, en consecuencia, a tomar las medidas adecuadas para evitar el peligro. Pero, por otro lado, la nanotecnología crea un auténtico entorno invisible a nuestro alrededor (FOGELBERG y GLIMELL, 2003; FRODEMAN, 2006). De hecho, lo mismo sucede con otras tecnologías. Pensemos por ejemplo en ciertas tecnologías de manipulación genética, como las de los organismos modificados genéticamente para la alimentación. Los transgénicos contaminan los campos de sus parientes de «agricultura ecológica» y se extienden por el entorno natural. También las redes informáticas extendidas (la web que envuelve con su tela digital la esfera terrestre) o la inteligencia ambiental

4. Este autor ha puesto al día recientemente sus planteamientos en *La sociedad del riesgo mundial. En busca de la seguridad perdida*, Barcelona, Paidós, 2008.

operan casi siempre en un segundo plano, como un medio ambiente que nos envuelve. Aclaremos esta última designación, que todavía no es familiar para la mayoría. La meta de la inteligencia ambiental es que los ordenadores ya no se conciban ni perciban como objetos diferenciados, sino que se integren con el entorno y con los objetos cotidianos. Estos «dispositivos inteligentes» tienen como finalidad la realización de las tareas asignadas de manera que la interacción con el usuario sea sencilla, «intuitiva», «natural», «suave».

Pues bien, como advierte el filósofo Alfred NORDMANN, el mayor problema de este tipo de tecnologías, que incluiría algunas nanoinnovaciones, es que suponen una transformación sin precedentes del entorno. Hasta ahora pensábamos que la tecnología servía para «dominar la naturaleza», bien que estemos más o menos en desacuerdo con dicha aspiración. A partir de ahora, la tecnología reemplaza al entorno natural. Son un conjunto de tecnologías «naturalizadas», creadoras de un entorno cuasi-natural, en el que nos movemos y nos moveremos más en el futuro, pero sin ser conscientes, por lo general, de cómo operan (NORDMANN, 2005). Precisamente, la idea es que no necesitemos ser conscientes de su callada actividad, que trabajen para nosotros sin tener que molestarnos en conocer el funcionamiento interno de los artefactos, o en programarlos, ni siquiera en leer el manual de instrucciones. El sueño del usuario despreocupado, en definitiva y sin apenas darnos cuenta, está asociándose a un cambio de gran transcendencia; es el cambio que se produce en nuestra relación con el entorno, tal y como ahora lo concebimos, no importa si se trata del espacio doméstico o del que se extiende tras sus paredes.

Aquí nos encontramos con una paradoja: el hecho de que los desarrollos nanotecnológicos puedan incrementar la agencia técnica, la capacidad para hacer cosas, puede provocar una disminución no ética de la agencia individual y colectiva, es decir, de nuestra capacidad de decisión y actuación. Cuanto más automatizados estén los procesos, cuanto más deleguemos en expertos y en dispositivos, más dependientes nos volveremos de ellos. Como alternativa, tenemos que plantearnos que el dominio democrático de las nuevas tecnologías implica una comprensión adecuada de sus atributos funcionales más relevantes. Pero esto, como sabemos todos por experiencia, resulta cada vez más complicado. Para obtener una mayor comprensión de las tecnologías, y en consecuencia, para poder ejercer un mayor control sobre las mismas, se precisa la puesta en marcha procesos de adaptación cultural. Hay que elaborar representaciones sociales apropiadas, construir, en fin, un «imaginario social» que no sea impuesto, sino basado en una participación y responsabilidad públicas activas.

Hay muchas fórmulas para conseguir que las nanotecnologías sean visibles en la esfera social. Ya se han ensayado en multitud de países diversos métodos de participación pública para debatir sobre las distintas innovaciones nanotecnológicas⁵. En lo que resta de capítulo nuestra tarea será más modesta. Queremos preguntarnos por las representaciones de las nanocasa, las que nos transmiten sus promotores y las que nosotros mismos podemos hacernos. La respuesta a esta pregunta nos servirá para extraer algunas consecuencias de carácter más general sobre el futuro de la nanotecnología y sobre el papel de la participación ciudadana en la configuración del mismo.

V. LAS REPRESENTACIONES DE LA NANOCASA

¿Cómo representan los promotores de la nanotecnología nuestra futura vida en una nanocasa? ¿De qué manera nos la representaremos nosotros? ¿Qué implicaciones se derivan de la producción de representaciones alternativas de una casa nanotecnológica? ¿Cuál es, en suma, la calidad de las representaciones que ofrece la nanocasa?

En relación a una nanocasa, encontramos tres maneras diferentes (pero interconectadas) de representación: 1. a través de los efectos macroscópicos, 2. como una «demostración» de las posibilidades de la nanotecnología, y 3. por medio del «código técnico» inscrito en el diseño. Veámoslas con algún detenimiento.

En primer lugar, tenemos la representación mediante los efectos macroscópicos de los materiales y los dispositivos nanotecnológicos que se han empleado en la vivienda. Son efectos que podemos percibir a simple vista, lo que hace que aunque las propiedades y funcionamiento de los nanocomponentes sean invisibles, se tornen «tangibles», sean percibidos por nuestros sentidos, sin necesidad de mediaciones. Por ejemplo, aunque desconozcamos cómo están fabricados, sabremos que los revestimientos de la casa son resistentes al óxido y que se limpian ellos solos, que regulan el paso de la luz, que se ajustan a las condiciones ambientales. Notaremos que los sensores regulan la temperatura y la humedad, que nos avisan en caso de que algo no funcione correctamente, que nos permiten comunicarnos con el exterior, y en general, que hacen que nuestra vida sea más confortable. Este tipo de efectos son cruciales a la hora de aceptar o rechazar una nueva tecnología. Al fin y al cabo, a la mayor parte de los ciudadanos son los únicos que les interesan. Algunos materiales y aparatos nano ya han sido incorporados en

5. Una revisión bastante exhaustiva (si bien no completa) de esas experiencias de participación se encuentra en BAYA LAFFITE y JOLY (2008).

productos cotidianos, pero los consumidores no son conscientes de ello a menos que la compañía que los produce los destaque por razones de marketing. Desde un punto de vista democrático, el hecho de que las compañías estén dispuestas a revelar los componentes nanotecnológicos de sus productos es beneficioso, puesto que aumenta la transparencia y la capacidad de decisión del consumidor; pero igualmente pueden decidir no hacerlo, caso de que la etiqueta «nanotecnológico» comience a darles problemas.

La segunda forma de representación atañe al valor demostrativo de la nanocasa en relación al potencial de las aplicaciones nanotecnológicas para construir «viviendas inteligentes». Esta función puede cumplirse directamente, permitiendo que las personas «experimenten» lo que sería vivir en una casa que emplea nanotecnología (a través de una especie de casas piloto que se sitúan en exposiciones), o indirectamente, a través de la cobertura de los medios de comunicación. Así, los proyectos de nanocasas se publicitan a través de páginas web, ilustraciones, fotos, vídeos, artículos divulgativos y programas de televisión, por citar los formatos más conocidos. Algunos titulares que se encuentran en internet son ilustrativos del mensaje que se intenta difundir, como «La nanocasa lleva la nanotecnología al hogar» o «Una gran tecnología está empequeñeciendo nuestro mundo»⁶.

El mensaje insiste en la contraposición entre materiales inteligentes y materiales «tontos» (dumb). Los primeros tendrían un potencial inacabable, puesto que pueden modificarse, de la manera deseada, en respuesta al entorno. Algunos materiales pueden contener ordenadores diminutos que envíen señales cuando algo vaya mal, como un escape de gas o un fallo eléctrico. Otros pueden cambiar de color a nuestro antojo, generar electricidad durante el día y almacenarla por la noche, no mancharse nunca, o autorrepararse, por mencionar algunas de las propiedades más llamativas.

La tercera manera de representar que tiene la nanocasa es menos evidente que las anteriores, pero de igual o mayor importancia si cabe. En efecto, la nanocasa representa a la nanotecnología a través del «guión» o del «código técnico» inscrito en su diseño⁷. Este guión actúa como la visión que

6. «Nanohouse brings nanotechnology home» (www.csiro.au/files/mediarelease/mr2003/Prnanohouse.htm); «Big technology is shrinking our world» (<http://www.infolink.com.au/n/Big-technology-is-shrinking-our-world-n761986>).

7. El concepto de guión (script) ha sido ampliamente utilizado por la llamada Teoría del Actor-Red (Actor-Network Theory), cuyos representantes más destacados son Bruno Latour, Michel Callon y John Law. Fue empleado por primera vez con estos fines en un trabajo de Madeleine Akrich (1992). Por su parte, el filósofo Andrew Feenberg utiliza la expresión «código técnico» (technical code) con objetivos similares. Véase Feenberg (1999 y 2002).

impulsa a la tecnología. Define el problema a resolver, lo circunscribe, asigna roles y relaciones entre objetos y personas, establece la configuración de la red tecnológica. Además, distribuye la agencia entre los distintos actores involucrados. El código técnico establece las especificaciones técnicas de la tecnología. Proporciona la definición básica de un objeto o sistema tecnológico. Las características son especificadas de manera que reflejan los valores sociales en juego, el «significado social» tal y como es asumido por los promotores de la tecnología. Parece algo muy abstracto, pero sus consecuencias prácticas son de lo más concretas. Si este guión o código técnico resulta invisible para la mayor parte de nosotros, es porque sólo se contiene en documentos técnicos, algunos manuales o tal vez en las declaraciones realizadas por los creadores de la tecnología en cuestión. La mejor manera de que salga a la luz es mediante la controversia, ya sea de tipo técnico, político o social. Un ejemplo muy sencillo lo aclarará: el uso de la tecnología de transporte basado en los combustibles fósiles no era motivo de discusión hasta hace relativamente poco, cuando las sucesivas crisis del petróleo y el aumento de la conciencia ecológica han traído a la luz toda clase de problemas económicos, ambientales, de salud, etc... Son problemas que acarrea perpetuar dicho sistema, de consentir la proliferación descontrolada de automóviles, camiones y otros vehículos, con las cantidades ingentes de emisiones contaminantes que emiten. Antes, casi nadie cuestionaba la idea de que cada uno podía vivir donde quisiera, ya que utilizaría su vehículo particular para desplazarse al trabajo o a las zonas de ocio por kilómetros y kilómetros de nuevas vías y autopistas.

Pues bien, otro tanto puede ocurrir con el concepto y extensión de las nanocasas. Los primeros diseños de nanocasa pueden desempeñar un papel significativo como la manifestación de lo que cualquier casa debería ser en el futuro, como un «paradigma», o más sencillamente, un «prototipo» para el desarrollo ulterior en ese campo. Contienen, por así decir, las especificaciones de lo que a partir de ahora deberá ser una vivienda apropiada, bloqueando o cuando menos dificultando la experimentación y compromiso con concepciones alternativas, y quizá más sensatas, de lo que supone cubrir la necesidad humana de alojamiento. Concretando, el guión de las nanocasas viene a consistir en los siguientes elementos:

1. *Definición del objetivo*

- Obtener un nivel adecuado de comodidad y protección para los usuarios por medios exclusivamente tecnológicos.
- El confort es definido en términos de los estándares occidentales.
- La sostenibilidad se entiende básicamente como eficiencia energética.

- Se descartan vías más «naturales» o tradicionales de obtener comodidad y sostenibilidad; por ejemplo, diseños bioclimáticos inspirados en las tradiciones populares de construcción de viviendas.
- No se consideran en profundidad ni el entorno más amplio donde la casa se construye ni las repercusiones de la producción de materiales y equipamiento necesarios para la construcción (ciclo de vida).

2. *Distribución de la agencia*

- Se asigna un papel activo y «amigable» a los artefactos (ellos se ocupan de todo).
- Los usuarios tienen un papel «pasivo» como beneficiarios del sistema tecnológico.
- El entorno natural aparece como una fuente de recursos (ej. luz solar transformada en energía) o como un agente hostil del que los habitantes de la casa deben ser protegidos.

3. *Significado o interpretación que se transmite*

- Gracias a la nanotecnología podremos vivir igual o mejor que lo hacíamos en el pasado o que lo hacemos en el presente.
- Dejando a los expertos que resuelvan los problemas, podemos continuar siendo usuarios despreocupados, sin cambiar nuestros hábitos o ejercer un control consciente sobre nuestro entorno.
- «La nanotecnología puede resolver todos nuestros problemas», incluidos los que ella misma pueda generar.
- La nanocasa es la mejor manera de promover un alojamiento sostenible.

VI. EL DERECHO A ELABORAR REPRESENTACIONES ALTERNATIVAS DE LAS NANOTECNOLOGÍAS

Vemos pues que los proyectos de nanocasas parecen fomentar un imaginario basado en el control técnico y la eficiencia energética, omitiendo aspectos menos agradables de un sistema tecnológico en un contexto global. Por ejemplo, no se plantean preguntas como las siguientes: ¿quiénes podrán permitirse la compra de esas viviendas? ¿A quién beneficiará y a quién perjudicará su extensión a gran escala? ¿Cuáles son los riesgos para la salud o el medio ambiente asociados a la producción de sus materiales y dispositivos? El principal problema de la nanocasa no es que sea un producto comercial que se nos quiera «colar», igual que tantos otros. El problema es que parece

darse por sentado que representa el futuro de la construcción, que es sinónimo de progreso, una expresión brillante de la revolución nanotecnológica que nos aguarda tras la esquina. La historia de la tecnología, por desgracia, nos muestra que las cosas no son tan sencillas, que fracasos y riesgos van aparejados al proceso de innovación, que la ambivalencia a la hora de valorar los beneficios es la norma más que la excepción, que unos suelen ganar a costa de otros. Las nanocasas pueden estar llenas de soluciones ingeniosas y útiles, nadie lo niega. Pero vivir en una de ellas no debe impedir a un ciudadano el ser consciente del paisaje más amplio que lo rodea.

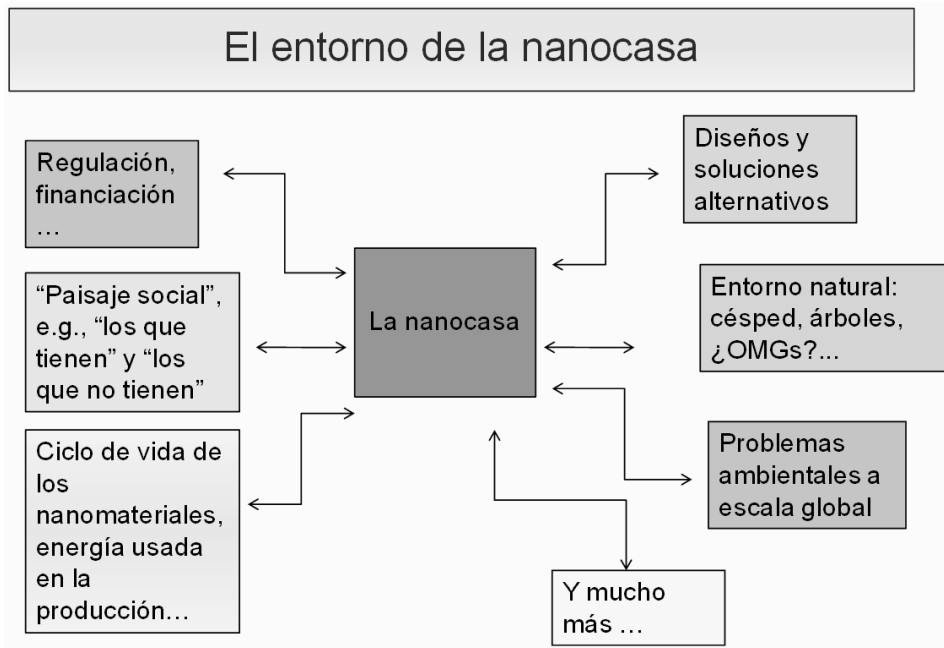


Figura 1. El entorno de la nanocasa

El paisaje natural y social que no debe ocultarnos la vida en una nanocasa incluye aspectos sustanciales que habría que debatir ampliamente, tales como los siguientes:

- Los riesgos potenciales para los seres humanos y el medio ambiente que pueden surgir durante el ciclo de vida del producto, tales como la toxicidad y la ecotoxicidad⁸.

8. Sobre el ciclo de vida de los nanomateriales puede consultarse, entre otros, el documento editado por W. KLÖPFER (2007). Para una aproximación metodológica sofisticada al riesgo nanotecnológico en general es de interés RENN y ROCO (2006).

- Si la nanotecnología puede ser una solución universal para los problemas ambientales (es decir, sacar a la luz las lagunas en los niveles teóricos y aplicados de una nanotecnología orientada a la sostenibilidad).
- Los amplios problemas sociales, económicos y éticos de construir nanocajas a gran escala.
- Si pueden promoverse cambios sustanciales (junto con soluciones técnicas adecuadas) en las actitudes hacia el consumo, poner en juego soluciones tradicionales para la vivienda, equilibrar la distribución de costes y beneficios a escala global, promover un verdadero respeto por la naturaleza, etc.

Resumiendo: los ciudadanos necesitan tener acceso al código técnico de las nanocajas para contar con suficientes elementos de juicio y eventualmente decidir si se trata de una solución apropiada a las necesidades de vivienda, algo que realmente contribuya a la meta de promover el acceso universal a una edificación de carácter sostenible. Las diversas representaciones del problema de la vivienda deben ser debatidas, rechazando los intentos de imposición, dudosamente democráticos, de una sola. A grandes líneas, las propuestas aquí sugeridas son extensibles al resto de las innovaciones nanotecnológicas y tecnológicas actualmente en marcha (DE CÓZAR 2009, 2009b). El código técnico de cualquier innovación tecnológica traslada las decisiones políticas a constricciones técnicas (qué se toma por solución viable) y epistemológicas (qué se toma por conocimiento relevante). Este movimiento de traducción debe ser hecho visible, es decir, debe ser desenmascarado, expuesto y criticado (FEENBERG 1999).

Vivimos en un mundo donde los organismos modificados genéticamente están alterando de manera invisible los sistemas naturales; donde el noventa por ciento de las especies existentes son invisibles al ojo humano y tanto más fácilmente pueden extinguirse debido a las actividades humanas; habitamos un entorno en el que, a pesar de la información que nos inunda, preferimos que aquello que nos desagrada quede fuera de la vista, de modo que no altere nuestra precaria tranquilidad. En este entorno resulta crucial no promover la invisibilidad, la falta de transparencia o el «oscurantismo», ya tengan un origen técnico o político. La vida en una nanocaja no debería agravar aun más un preocupante mal crónico, nuestro sonambulismo tecnológico.

BIBLIOGRAFÍA

AKRICH, Madeleine (1992), «The de-scription of technical objects», en W. BIJKER y

- J. LAW (eds.) *Shaping Technology, Building Society*, The MIT Press, Cambridge (Massachusetts).
- BAYA LAFFITE, N. y P. B. JOLY (2008), «Nanotechnology and Society: Where do we stand in the ladder of citizen participation?», en *Cipast Newsletter*, marzo 2008, disponible en <http://www.cipast.org/download/CIPAST%20Newsletter%20Nano.pdf>.
- BECK, Ulrich (2008), *La sociedad del riesgo mundial. En busca de la seguridad perdida*, Paidós, Barcelona.
- BERUBE, David M. (2006), *Nano-hype. The truth behind the nanotechnology buzz*, Prometheus Books, New York.
- DE CÓZAR ESCALANTE, J. M. (2007), «Making nanotechnology visible: communication, participation and symbolic appropriation», *Proceedings of the 3rd Living Knowledge Conference*, Paris, 30 agosto-1 septiembre 2007.
- (2009), «Gobernar la nanotecnología: un (breve) ensayo de democracia técnica», en Jorge RIECHMANN, *Nanomundos, multiconflictos. Una aproximación a las nanotecnologías*, Barcelona, Icaria, pp. 93-107.
- (2009b), «Aspectos sociales de las nanotecnologías», en Varios Autores, *¿Qué es la nanotecnología? Avances, expectativas y riesgos*, Donostia, Cátedra Sánchez Mazas, Colección Poliedro, pp. 95-137.
- FEENBERG, Andrew (1999), *Questioning Technology*, Routledge, New York.
- (2002), *Transforming Technology*, Oxford University Press, Oxford.
- FOGELBERG, H. y H. GLIMELL (2003), «Bringing visibility to the invisible: Towards a social understanding of nanotechnology», *Göteborgs Universitet, Section for Science and Technology Studies*, STS Research Reports No 6.
- FRODEMAN, R. (2006), «Nanotechnology: The Visible and the Invisible», *Science as Culture*, 15 (4), 383-389.
- HOMER-DIXON, Thomas (2007), *The Upside of Down. Catastrophe, Creativity and the Renewal of Civilization*, Random House, Toronto.
- JOHANSEN, J. M. (2002), *Nanoarchitecture: a new species of architecture*, Princeton Architectural Press, New York.
- KLÖPPER, W. (ed.) (2007), «Nanotechnology and life cycle assessment. Synthesis of results obtained at a workshop», Washington, DC, 2-3 October 2006, *Woodrow Wilson International Center for Scholars*, disponible en http://www.nanotechproject.org/file_download/files/NanoLCA_3.07.pdf.
- NORDMANN, Alfred (2005), «Noumenal technology: reflections on the incredible tininess of nano», *Techné: Research in Philosophy and Technology*, Spring, 8 (3), 3-23.

— 15. *La vida en una nanocasa. Efectos socioambientales de las nanotecnologías*

PITT, J. (2005), «When is an image not an image?», *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 8 (3), 24-33.

RENN, O. y M. C. ROCO (2006), *White paper on nanotechnology risk governance. International Risk Governance Council*, Ginebra, disponible en http://www.irgc.org/IMG/pdf/IRGC_white_paper_2_PDF_final_version-2.pdf.

RITTER, A. (2007), *Smart materials in architecture, interior architecture and design*, Andreas Muller, Berlin.

SHELLEY, Toby (2006), *Nanotecnología. Nuevas promesas, nuevos peligros*, El viejo topo, Barcelona.

WINNER, Langdon (1987), *La ballena y el reactor*, Gedisa, Barcelona.

A

Abajo-Arriba: También utilizado como *Bottom-Up*. Es la construcción de estructuras orgánicas o inorgánicas átomo a átomo o molécula a molécula.

Arriba-Abajo: También denominado *Top-Down*. Es la reducción o simplificación de piezas de materia a moléculas de dimensiones nanométricas.

Assembler: También conocido como *Maquina de Ensamblaje*. Sistema cuyo objetivo general es la producción de estructuras moleculares a nano escala, capaz de guiar reacciones químicas por el posicionamiento de las moléculas. Es un conjunto de moléculas actuando como una «máquina molecular» y siendo capaz de construir otras estructuras moleculares. En el campo de la medicina, los investigadores de la Universidad de Tokio y publicada en rev. Molecular BioSystems crearon un polímero el cual se autoensambla en nanopartículas sensibles que, una vez recogidas por las células cancerígenas, desprenden el fármaco cuando detectan el momento más oportuno, por lo que se consiguen niveles de medicación intracelular más altos que los obtenidos con tratamientos convencionales.

Átomo: La unidad más pequeña de un elemento químico. Mide de diámetro aproximadamente un tercio de un Nanómetro. Los átomos crean moléculas y objetos sólidos.

Auto-ensamblaje Fluido: Una técnica para montar grandes cantidades de aparatos diminutos. Aparatos semi-conductores de forma específica midiendo desde 10 hasta cientos de micrones, se suspenden en líquido y fluyen sobre una superficie que tiene «agujeros» o receptores en los que los aparatos caen y se sitúan de forma alineada.

* La selección de los términos junto con la traducción de las definiciones de algunos conceptos fue realizada por Andrea MORENO. Las definiciones fueron tomadas de diferentes fuentes. Entre ellas, páginas científicas y libros sobre nanotecnología. Sin embargo, lo más utilizado fueron las páginas del Institut of NanoTechnology, portales científicos y la página de la Unión Europea.

B

Barrera Placentaria: Membrana que separa la sangre materna de la fetal impidiendo así el paso hacia el organismo en desarrollo de las sustancias de alto peso molecular transportadas por la sangre materna. Se deben tener muy en cuenta los resultados de comportamiento de moléculas orgánicas o inorgánicas nano puesto que puede afectar directamente a la descendencia.

Barrera hematoencefálica: Barrera protectora entre los vasos sanguíneos del cerebro y los tejidos cerebrales que permite que la sangre fluya libremente hacia el cerebro pero impide el contacto entre la mayoría de las sustancias del torrente sanguíneo y las células cerebrales. Esta barrera protege al cerebro de los efectos de numerosas sustancias nocivas, pero al mismo tiempo dificulta la administración de fármacos al cerebro.

Bionanotecnología: También se puede llamar *Nanobioteconología*. Rama de la nanotecnología basada en el uso de estructuras biológicas tales como las proteínas ATP's, DNA, etc. Para el estudio de Biosistemas y para el aprendizaje de creación de nuevos y mejores sistemas nanotecnológicos que puedan funcionar como uno biológico. Entrando en un terreno futurista, el concepto de bio-nanotecnología está basado en las llamadas células artificiales que actualmente forma parte de un programa de investigación de la Nasa y es uno de los campos más prometedores de la nanomedicina. Estas células tendrían un «comportamiento muy eficiente» (más eficiente que las células ordinarias) por ejemplo en la entrega de oxígeno o haciendo y destruyendo virus.

BuckyBall: (Buckminsterfullerene), nano-estructura compuesta de 60 átomos de carbono (su nombre químico es C60) estructurados en un espacio cerrado y perfectamente simétrico, tienen propiedades extraordinarias, especialmente como superconductores. Es una nueva forma del carbono y tiene una geometría similar a un icosaedro, con la estructura en forma de balón de fútbol. La superficie de la imagen entrevé las formas de *buckyballs* en su estructura. Las *buckyballs* superconductoras muestran la temperatura crítica más alta que se haya encontrado en compuestos orgánicos y se asocian en nanotecnología a los *Nanotubos*.

Los BuckyBalls fueron descubiertos por Robert F. Curl Jr., Harold W. Kroto y Richard E. Smalley en 1985, de alrededor de un nanómetro de diámetro, lo cual sentó las bases para un paso más en el desarrollo de la Nanotecnología. El nombre se dio en memoria del arquitecto Buckminster Fuller quien realizó extensos trabajos sobre las esferas geodésicas las cuales recuerdan la forma de este compuesto C60.

C

Computación Cuántica: computadores u ordenadores cuyo comportamiento es

determinado de forma importante por leyes de la mecánica cuántica. El sistema descrito está formado por **bits cuánticos** (quantum bits) o *qubits*, y pueden ser por ejemplo: núcleos, puntos cuánticos, semiconductores y similares.

Mientras que los computadores tradicionales codifican información usando números binarios (0, 1) y pueden hacer sólo cálculos de un conjunto de números de una sola vez cada uno, las computadoras u ordenadores cuánticos codifican información como serie de estados mecánicos cuánticos tales como direcciones de los electrones o las orientaciones de la polarización de un fotón representando un número que expresaba que el estado del bit cuántico está en alguna parte entre 1 y 0, o una superposición de muchos números de forma que se realizan diversos cálculos simultáneamente.

E

Efectos Adversos: También conocidos como *Reacciones Adversas a los Medicamentos (RAM)*. Son las reacciones perjudiciales e inesperadas a medicamentos administrados a las dosis habituales con fines terapéuticos. Los efectos adversos pueden ser confundidos por efectos secundarios o efectos colaterales. Cuando el efecto colateral o el efecto secundario tiene una trascendencia clínica estamos hablando de una Reacción Adversa, un efecto (secundario o colateral) siempre indeseable.

Efecto Colateral: es la reacción sobre un receptor diferente además del originalmente tratado como objetivo del medicamento.

Efectos secundarios: son los que se producen como consecuencia del efecto primario o bien por un efecto colateral de medicamentos ingeridos en su dosis terapéutica habitual. A diferencia de los efectos adversos, los efectos secundarios pueden tener o no tener trascendencia clínica.

Enlaces Van der Waal: Las fuerzas de Van der Waals son fuerzas de estabilización molecular; forman un enlace químico no covalente en el que participan dos tipos de fuerzas o interacciones, las fuerzas de dispersión (que son fuerzas de atracción) y las fuerzas de repulsión entre las capas electrónicas de 2 átomos contiguos.

Ensamblaje Exponencial (Exponential Assembly): Es un sistema de fabricación que auto-replica parte de un solo brazo robótico diminuto sobre una superficie. Este brazo fabrica un segundo brazo robótico sobre una superficie enfrente, recogiendo partes en miniatura, colocadas para que el brazo robótico diminuto pueda localizarlas y montarlas. Luego estos dos brazos robóticos hacen dos más, uno en cada de las superficies enfrente de ellos. Este proceso sigue, duplicándose el número de brazos robóticos (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64...) hasta llegar a un límite.

Esto es un ejemplo de crecimiento exponencial, de ahí su nombre ensamblaje, o montaje, exponencial. De forma más futurista esta técnica está ligada

a los nanorobots o nanobots, una forma de auto-réplica en la cual dispositivos a nanoescala denominados nanobots o nanorobots construyen copias de sí mismos de forma repetitiva. Para que esto ocurra en forma de ensamblaje exponencial se deben dar cuatro condiciones: capacidad de construir al menos dos copias por cada nanobot, existencia de suficiente energía e ingredientes, control de las condiciones ambientales y que el proceso pueda ser programado para concluir en un determinado punto.

F

Farmacovigilancia: Prevención y detección de los efectos adversos de los medicamentos. La evaluación atenta de los riesgos y beneficios de los medicamentos se aplica en todas las etapas del ciclo de vida de éstos, desde antes de su aprobación hasta su uso por los pacientes

Física Cuántica: también conocida como mecánica ondulatoria, es la rama de la física que estudia el comportamiento de la materia cuando las dimensiones de ésta son tan pequeñas, en torno a 1.000 átomos, que empiezan a notarse efectos como la imposibilidad de conocer con exactitud la posición de una partícula, o su energía, o conocer simultáneamente su posición y velocidad, sin afectar a la propia partícula (descrito según el principio de incertidumbre de Heisenberg).

Fullereno: Molécula compuesta de solo átomos de carbono. Es uno de los compuestos más estables del carbono junto con el diamante. Existen varios tipos de fullerenos, el más común es el C60 o coloquialmente llamado Bucky ball.

G

Gray Goo: (también escrito Grey Goo y en castellano traducido como *Plaga Gris*). Escenario hipotético donde se habla de la extinción de la raza humana a causa de la nanotecnología y de su evolución y mutación de nanomáquinas o nanorobots. Término introducido por el escritor Eric DEXLER en su libro «Engines of Creation» en 1986.

I

Ingeniería de tejidos: Biomateriales que permiten crear tejidos artificiales como la piel. La idea es crear una estructura artificial y temporal de polímeros en la que las células puedan crecer alrededor y en el interior de estos polímeros

Ion: Átomo o grupo de átomos en el que el número de electrones es diferente al de protones. Si el número de electrones es menor es una partícula positiva conocida como *Cation*. En caso contrario, si es mayor el número de electrones, es una partícula negativa también llamada *Anion*.

L

Litografía NanoImpresión: También conocida como *Nanolitografía*. Es el arte y la ciencia de poder escribir, imprimir o diseñar patrones a niveles microscópicos, donde el tamaño de las letras es medido en nanómetros. Este campo es mayormente estudiado para circuitos y chips electrónicos. Los instrumentos normalmente utilizados para realizar la impresión o la escritura son los microscopios de túnel y el de potencia atómica. Existen hasta el momento dos tipos de nanoimpresión, una usa la presión sobre una superficie y el otro tipo es con tinta, la cual marca el patrón o la escritura sobre la superficie.

M

Máquinas Inmunes (Immune Machines): Nanomáquinas médicas diseñadas para uso interno, sobre todo en las vías sanguíneas y digestivas, capaces de identificar y atacar bacterias y virus.

Medicación inteligente (Polímeros de Langer): Polímeros biodegradables (largas cadenas de moléculas pesadas compuestas por repetidas unidades estructurales conectadas mediante enlaces químicos) que una vez introducidos en el torrente sanguíneo liberan fármacos de forma controlada. Las características físicas de los polímeros pueden modificarse mediante estímulos externos, como impulsos eléctricos, magnéticos o ultrasonidos, de forma que se puede controlar la liberación de medicamentos donde y cuando sea conveniente y con la dosis necesaria. Langer y equipo han diseñado un chip que, inyectado en la sangre del paciente la analiza constantemente para ordenar la liberación del fármaco del interior de los polímeros cuando sea necesario. Ha sido empleado con éxito contra tumores de cerebro próstata y ovarios. Los resultados demuestran que los polímeros liberan el quimioterápico justo en el tumor, es decir eliminan las células cancerígenas sin afectar otros órganos y células sanas.

Microscopio de potencia atómica (Atomic Force Microscope): Permite la medición de la topografía de superficie con precisión atómica. El AFM puede aumentar la superficie hasta 100.000.000 veces más y tiene la capacidad de crear una imagen en 3D de la superficie analizada. Esta técnica se deriva de tecnología afín como el microscopio de efecto túnel (STM). Estos microscopios se diferencian en que el AFM no requiere de una temperatura especial para poderlo utilizar, mientras que el STM necesita de condiciones y temperatura especiales para poder manipular las muestras. El AFM está siendo utilizado para entender los problemas de los materiales en campos como las telecomunicaciones, la biomedicina, química, ingeniería aeroespacial y almacenamiento de datos.

Microscopio de efecto túnel (Scanning Tunneling Microscope STM): podríamos definirlo como una máquina capaz de revelar la estructura atómica de las

partículas. Las técnicas aplicadas se conocen también como «de barrido de túnel» y están asociadas a la mecánica cuántica. Se basan en la capacidad de atrapar a los electrones que escapan en ese efecto túnel, para lograr una imagen de la estructura atómica de la materia con una alta resolución, en la que cada átomo se puede distinguir de otro.

Una vez llevado el proceso en el microscopio, escaneando la superficie del objeto y haciendo un mapa de la distancia entre varios puntos, se genera una imagen en tres dimensiones. Los microscopios de efecto túnel también han sido utilizados para producir cambios en la composición molecular de las sustancias. Es un instrumento fundamental en el campo de la nanotecnología y la nanociencia. Inventado por Binnig y Rohrer en 1981, quienes fueron galardonados con el Premio Nobel en 1986 por este descubrimiento.

Molécula: Grupo de átomos unidos por enlaces químicos. Es la unidad más utilizada comúnmente para la manipulación en el campo de la nanotecnología.

N

Nano: Prefijo que se refiere a una billonésima parte de algo (1/1.000.000.000).

NanoBiotecnología: Ver Bionanotecnología.

NanoBurbujas: pequeñas burbujas de aire en superficies coloidales. Pensadas para reducir el rozamiento. Los beneficios de esas burbujas nano se están estudiando sobre todo para trajes de baño cubiertos por estas nanoburbujas para nadadores profesionales.

NanoCables: Estructuras moleculares unidimensionales utilizados como semiconductores, diodos emisores de luz (LEDs), etc. con propiedades eléctricas y ópticas únicas, Son uno de los componentes clave para la creación de chips electrónicos moleculares. Fáciles de producir, éstos pueden ser juntados a modo de rejilla y llegan a constituir la base para los circuitos lógicos a nanoescala.

Nanociencia: se diferencia de la nanotecnología puesto que su objetivo es comprender los fenómenos que ocurren a nanoescala. En cambio la *Nanotecnología* manipula y controla estructuras moleculares de esta escala.

NanoCristales: Sólidos de tamaño molecular compuesto por un patrón repetitivo en 3D de átomos y moléculas. Los nanocristales son agregados de entre cientos y miles de átomos combinados creando una sustancia material cristalina llamada «Cluster». Normalmente tienen 10 nanómetros de diámetro. Debido a la larga superficie expuesta de nanocristales pueden ser químicamente altamente activos e inestables. Por ejemplo, las nanopartículas de plata son conocidas por ser muy efectivas contra los microbios. Los nanocristales pueden ser usados como bloques para nanomateriales estructurados. Los nano-

cristales son estudiados sobre todo en el campo de la óptica puesto que tienen la habilidad de cambiar la longitud de onda de luz.

Nanómetro: millonésima parte de un milímetro. 10^{-9} es decir: 1 milímetro = 1.000.000 nanómetros. O 1 nanómetro = 0,000000001 metros.

Nanotecnología: la manipulación de la materia a escala atómica y molecular.

Nanotecnología Húmeda: (Wet nanotechnology): El estudio de sistemas biológicos que principalmente funciona en ambientes húmedos. Las estructuras nanométricas que realmente interesan en este campo de investigación son por ejemplo las estructuras de ADN, el material genético, membranas, enzimas, y otros componentes de las células. El éxito de este campo está claramente demostrado por la existencia de organismos vivos cuya forma, funcionamiento y evolución, están gobernados por la interacción de estructuras nanométricas.

Nanoshells: Esferas metálicas a escala nanométrica, las cuales tienen la habilidad de absorber o reflejar la luz a cualquier longitud de onda. Por esta razón son muy estudiados en el campo de la óptica por su increíble versatilidad, sin embargo también se están estudiando avances en el campo de la medicina.

Nanoshells de Oro (Gold Nanoshells): Son estructuras esféricas de oro con anticuerpos que reconocen un cáncer específico (el anticuerpo no es totalmente específico pero está expresado en un orden de magnitud mayor en la zona cancerígena). Como el oro es un metal que se puede calentar rápidamente y además es un material de los más inertes que se conocen (menos toxicidad). Estas partículas se inyectan y el anticuerpo se va a su lugar y se une, se irradia con luz a nivel local y las partículas aumentan de temperatura (esta propiedad a escala nanométrica es mucho más importante) quemando de esta manera las células cancerígenas. El único problema que comporta es que no se pueden metabolizar y se acumulan en el hígado (se está estudiando si los niveles de acumulación en el hígado son tolerables o no).

Nano Tubos de Carbono (CNTs): están constituidos por redes hexagonales de carbono curvadas y cerradas, formando tubos de carbono nanométricos con una serie de propiedades fascinantes que fundamentan el interés que han despertado en numerosas aplicaciones tecnológicas. Son sistemas ligeros, huecos y porosos que tienen alta resistencia mecánica, y por tanto, interesantes para el reforzamiento estructural de materiales y formación de compuestos de bajo peso, alta resistencia a la tracción y enorme elasticidad.

Nanovacunas. Integración de la nanotecnología con la virología, la inmunología y las técnicas biotecnológicas para la prevención de enfermedades prevenibles por vacunas. Es desarrollar un nuevo tipo de tecnología para la obtención de vacunas que trabaje a nanoescala para mejorarlas, crear nuevas.

P

Polímero: Macro moléculas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas *Monómeros*.

Principio de Precaución: El principio de precaución puede invocarse cuando es urgente intervenir ante un posible peligro para la salud humana, animal o vegetal, o cuando éste se requiere para proteger el medio ambiente en caso de que los datos científicos no permitan una determinación completa del riesgo. Este principio no puede utilizarse como pretexto para adoptar medidas proteccionistas, sino que se aplica sobre todo en los casos de peligro para la salud pública. Gracias a él es posible, por ejemplo, impedir la distribución de productos que puedan entrañar un peligro para la salud o incluso proceder a su retirada del mercado.

Puntos Cuánticos (Quantum Dots): Estructura cristalina a nanoescala que puede transformar el color de la luz. El punto cuántico se considera que tiene una mayor flexibilidad que otros materiales fluorescentes, lo que lo hace idóneo para utilización en construcciones a nanoescala de aplicaciones computacionales donde la luz es utilizada para procesar la información. Fabricados de una variedad de diferentes componentes, tales como cadmio selenio (cadmio selenide). Ver *Computación Cuántica*.

V

Virus: organismo de estructura muy sencilla, compuesto de proteínas y ácidos nucleicos, y capaz de reproducirse sólo en el seno de células vivas específicas, utilizando su metabolismo.

NOTA SOBRE LOS AUTORES

Anna M. Badia Martí

Catedrática de Derecho internacional Público y Directora del Master de Estudios Internacionales, Universitat de Barcelona. Miembro del Observatori de Bioètica i Dret. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.

Lydia Buisan Espeleta

Profesora de Ética Médica, Universitat de Barcelona. Jefe del Área de Anestesiología, Reanimación y Tratamiento del Dolor, Hospital General de L'Hospitalet. Miembro del Grup de Recerca Consolidat «Bioètica, Dret i Societat» de la Generalitat de Catalunya y del Observatori de Bioètica i Dret. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.

Maria Jesús Buxó i Rey

Catedrática de Antropología, Universitat de Barcelona. Directora de la *Revista de Bioètica y Derecho*. Miembro del Grup de Recerca Consolidat «Bioètica, Dret i Societat» de la Generalitat de Catalunya y del Observatori de Bioètica i Dret. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.

María Casado

Titular de la Cátedra UNESCO de Bioética de la UB. Directora del Observatori de Bioètica i Dret. Coordinadora del Grup de Recerca Consolidat «Bioètica Dret i Societat». Profesora Titular de Filosofía del Derecho, Moral y Política y Directora del Máster en Bioética y Derecho, Universitat de Barcelona. Miembro del Board of Directors de la International Association of Bioethics (IAB). Miembro del Comitè Consultiu de Bioètica de Catalunya y del Comité de Bioética de España. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.

Mirentxu Corcoy

Catedrática de Derecho Penal, Universitat de Barcelona. Miembro del Grup de Recerca Consolidat «Bioètica, Dret i Societat» de la Generalitat de Catalunya y del Observatori de Bioètica i Dret. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.

José Manuel de Cózar Escalante

Doctor en Filosofía por la Universidad de Valencia y Profesor Titular de la Universidad de La Laguna. Coordinador del Grupo de Investigación Social en Nanotecnología, del que forman parte investigadores de diversas universidades españolas. Es miembro del grupo de trabajo sobre los aspectos éticos y sociales de la nanomedicina de la Nanomed Round Table (UE).

Ana Isabel Cremades

Profesora Titular en el Departamento de Física de Materiales de la Facultad de Físicas, Universidad Complutense de Madrid. Miembro del grupo de investigación de Micro –y nano– caracterización de semiconductores de la UCM. Directora del Ciclo Complutense de Ciencia y Tecnología de la Fundación General y Directora de la colección «Ciencia y Sociedad», UCM.

Ricardo García Manrique

Profesor Titular de Filosofía del Derecho, Universitat de Barcelona. Miembro del Grup de Recerca Consolidat «Bioètica, Dret i Societat» de la Generalitat de Catalunya y del Observatori de Bioètica i Dret. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.

Manuel Garí Ramos

Licenciado en Ciencias Económicas, Universidad Complutense de Madrid. Director del Área de Medio Ambiente del Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), fundación laboral de Comisiones Obreras. Director de la Cátedra Extraordinaria Universidad Empresa Sindicatos de la Universidad Politécnica de Madrid. Director de la revista *Daphnia, contaminación y producción limpia*.

Ruth Jiménez Saavedra

Licenciada en Biología, Universidad Complutense de Madrid, especialidad de Neurobiología. Bachelor of Science en Química en la *Open University* (Reino Unido). Ha desarrollado la mayor parte de su experiencia profesional

como higienista industrial en Reino Unido. Profesora del Curso Superior de Prevención de Riesgos Laborales y actualmente trabaja en ISTAS como técnica de higiene industrial. Socia fundadora y Presidenta de la Asociación Española de Higiene Industrial (AEHI).

Itziar de Lecuona

Licenciada en Derecho y Máster en Bioética y Derecho por la Universitat de Barcelona. Profesora asociada al departamento de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universitat de Barcelona. Investigadora del Observatori de Bioètica i Dret, PCB-UB. Miembro del Grup de Recerca Consolidat «Bioètica, Dret i Societat» de la Generalitat de Catalunya. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.

Fabiola Leyton

Máster en Bioética y Derecho, Universitat de Barcelona. Doctoranda en Filosofía y Becaria de Investigación, Universitat de Barcelona. Miembro del Grup de Recerca Consolidat «Bioètica, Dret i Societat» de la Generalitat de Catalunya y del Observatori de Bioètica i Dret. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.

Mariela Mautone

Nefróloga, Jefe de Servicio de Hemodiálisis, Hospital de Clínicas de Montevideo. Máster en Bioética y Derecho de la UB. Profesora de Bioética de la Universidad de la República. Miembro del Observatori de Bioètica i Dret. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.

David Maestre

Licenciado en Física, Universidad de Madrid. Doctor en Física, Universidad Complutense de Madrid. Profesor Ayudante en el Departamento de Física de Materiales, Facultad de Física, Universidad Complutense de Madrid.

Andrea Moreno

Licenciada en Filosofía y Máster en Bioética y Derecho por la Universitat de Barcelona. Becaria, Universitat de Barcelona. Miembro del Observatori de Bioètica i Dret. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.

José Manuel Rodríguez Victoriano

Licenciado en Sociología, Universidad Complutense. Doctor en sociología, Universidad de Valencia. Profesor Titular, Departamento de sociología y Antropología Social, Universidad de Valencia. En los últimos años está trabajando las cuestiones relacionadas con los procesos de democratización del conocimiento científico y sus tecnologías aplicadas.

Albert Royes

Profesor de Ética Médica. Secretario del Comité de Bioética de la Universitat de Barcelona y de la Asociación de Bioética y Derecho, Universitat de Barcelona. Miembro del Grup de Recerca Consolidat «Bioètica, Dret i Societat» de la Generalitat de Catalunya y del Observatori de Bioètica i Dret. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.

Graciela Sarrible Pedroni

Profesora Titular de Universidad, desde 1989. Dra. en Sociología por la Universidad Complutense de Madrid (1987), especializada en Demografía en la Université de Paris I, La Sorbonne, Desde su tesis doctoral ha tratado cuestiones como la Fecundidad diferencial del migrante, la nupcialidad de extranjeros hetero y homosexuales. En la actualidad investiga sobre las Migraciones Forzosas y el medioambiente. Miembro del Proyecto «Implicaciones bioéticas, jurídicas y sociales de las nanotecnologías», Ministerio de Ciencia e Innovación.