

Dimensiones de la investigación social sobre la nanobiotecnología *

Dimensions of social research on nanobiotechnology

José Manuel de Cózar Escalante  **

Podemos concebir a la nanobiotecnología como el conjunto de las tecnologías que aplican herramientas, componentes y procesos provenientes de la nanotecnología a los sistemas biológicos. Si dicha aplicación centra en el ser humano constituye entonces el ámbito de la nanomedicina. Paralelamente, también supone el empleo de los sistemas biológicos como inspiración y, en sentido literal, como moldes o elementos para el desarrollo de nuevos productos de escala nanométrica -en especial nuevos materiales y nanobiosensores-. La convergencia de las biotecnologías con las nanotecnologías representa un proceso de gran significado científico, técnico y social, dada la capacidad transformadora de lo real de esa combinación nano-bio. Son de prever numerosas repercusiones sociales y ambientales, desde pequeñas mejoras incrementales en tecnologías ya asentadas (como filtros, sensores, materiales para prótesis, medicamentos, etc.) hasta innovaciones inimaginables a día de hoy. Todo ello justifica la relevancia de una investigación social de las nanobiotecnologías, tanto desde un punto de vista teórico como práctico. En este artículo se detallan las principales dimensiones de tal investigación, con una serie de cuestiones agrupadas bajo los siguientes rútilos: análisis y gestión de riesgos; diseminación y comprensión pública; transferencia tecnológica; bioética y biopolítica; y sostenibilidad.

Palabras clave: nanobiotecnología, investigación social, ética, política

91

Nanobiotechnology can be envisaged as a set of technologies that apply nanotechnological tools, components and processes to biological systems. These applications focus on human beings in the field of nanomedicine. In parallel, nanobiotechnology is also the use of biological systems as inspiration and, literally, as scaffolding or components for the development of new nanoscale products, including new materials and nanobiosensors. The convergence of biotechnology with nanotechnology represents a process of great scientific, technological and social significance, given the capacity of this nano-bio combination to transform reality. Numerous social and environmental impacts are anticipated, from small incremental improvements in already established technologies (such as filters, sensors, materials for prostheses, medicines, etc.) to innovations today unimaginable. All this justifies the relevance of social research on nanobiotechnologies, both from a theoretical and a practical perspective. This article describes the main dimensions of such research, with a number of issues grouped under the following labels: analysis and risk management, awareness and public understanding, technology transfer, bioethics and biopolitics, and sustainability.

Key words: nanobiotechnology, social research, ethics, politics

* La investigación que se recoge en este texto ha sido apoyada por la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) mediante el proyecto *Evaluación del proceso de transferencia de nuevos materiales nanotecnológicos en equipos de diagnóstico y tratamiento médico*, Evalnanomed (C200801000076).

** Profesor de la Facultad de Filosofía de la Universidad de La Laguna, Tenerife, España. Correo electrónico: jcozar@ull.es.

Introducción: Qué es la nanobiotecnología

La nanobiotecnología (o, alternativamente, la bionanotecnología) constituye un amplio conjunto de innovaciones en la intersección de lo nanotecnológico y lo biotecnológico.¹ Un nanómetro es la unidad de medida correspondiente a la milmillonésima parte del metro o, lo que es lo mismo, la millonésima parte de un milímetro. La convergencia de tecnologías puede producirse debido ante todo a la escala en la que actúan dichas tecnologías: la escala nanoscópica, es decir, la de los átomos y las moléculas. Las entidades biológicas “microscópicas” tales como las partes de las células, los microorganismos, las cadenas de ADN (en su ancho), tienen tamaños que se encuentran habitualmente dentro de un rango de entre unos nanómetros y unos cientos de nanómetros.

Los sistemas biológicos están gobernados por procesos y estructuras nanoescalares que han sido “optimizadas” por la evolución a lo largo de millones de años. Cualquier entidad por debajo de la célula es por consiguiente objeto de estudio de la nanobiología. Pues bien, a esa escala, las interacciones controladas entre la materia viva y la inerte son factibles. Por ejemplo, un nanomaterial puede atravesar una barrera biológica y penetrar en una célula, incluidas las del cerebro. O alternativamente, y por poner otro ejemplo, un dispositivo puede incluir receptores biológicos (estar funcionalizado con anticuerpos, entre otras posibilidades) con el fin de ser empleado como sensor para detectar sustancias en el medio ambiente.

92

Cabe definir entonces la nanobiotecnología (o la bionanotecnología) como el diseño, construcción y manipulación de entidades en el rango de 1 a 100 nanómetros, empleando enfoques basados en la biología o para el beneficio de los sistemas biológicos (Shoseyov y Levy, 2008).

La diversidad de posibilidades que se ofrece para la interacción nano-bio desde el punto de vista tecnológico es inmensa. En primer lugar, tomemos la instrumentación científica, el uso de la nanotecnología para el estudio de lo biológico. Así, los investigadores y tecnólogos pueden analizar los objetos biológicos (como las proteínas) mediante microscopios de fuerza atómica y otro instrumental especializado comúnmente asociado a la investigación nanotecnológica. O pueden emplear supercomputadores y aparatos para la generación de imagen con el fin de obtener mejores representaciones, modelos y simulaciones de la estructura y funcionamiento de los seres vivos. Asimismo, es posible crear nanomateriales, nanoestructuras y nanodispositivos para comprender y controlar mejor las entidades biológicas: nanopartículas magnéticas para conducir las a determinadas partes de un organismo y señalar y tratar una zona dañada con precisión, nanocápsulas para transportar sustancias de valor médico dentro del cuerpo y matrices o soportes (scaffolds) que sirvan como “andamiaje” para reparar tejidos, entre otros muchos ejemplos.

1. Por ello, aunque se hable de “nanobiotecnología” en singular, se ha de tener siempre presente que estamos ante diversas nanobiotecnologías, cada una con sus especificidades, lo que puede implicar cosas muy distintas desde una óptica social.

Además del uso de la nanotecnología para estudiar y controlar los sistemas biológicos, cabe hacer el recorrido inverso: la nanotecnología puede aprender de la naturaleza para fabricar nuevos dispositivos, “imitándola” en sus estructuras y funcionalidades. Por ejemplo, ya que las células se consideran unidades de fabricación de sustancias muy eficientes, podemos intentar crear células artificiales, o “nanomotores” que imiten a los diminutos motores moleculares que se encuentran en la naturaleza. A esta imitación se la denomina con frecuencia “biomímesis”.

Sin asimilarse a la nanobiotecnología, pero próximo a ella, se encuentra el novedoso e inquietante terreno de la biología sintética: sus investigaciones tienen por finalidad la construcción de sistemas biológicos, tales como células y organismos vivos completos, mediante métodos artificiales. Es objeto de polémica constante tanto la naturaleza exacta de esos métodos (si son capaces realmente de crear vida artificial) como el alcance que pueden tener para la vida humana y para los sistemas vivos en general. Uno de sus mayores exponentes es el científico-empresario Craig Venter, célebre por sus contribuciones a la secuenciación del genoma humano - actividad durante la cual se produjeron fuertes roces con las investigaciones públicas- y por haber sintetizado la primera bacteria artificial en 2010.

La nanobiotecnología tiende a buscar aplicaciones interesantes mediante la hibridación o simbiosis entre lo orgánico y lo inerte. Los nanobiosensores son la mejor prueba de ello, al ser dispositivos que combinan elementos electrónicos con biológicos. Tienen múltiples aplicaciones para la salud, la seguridad o el medio ambiente al permitir la detección de moléculas en concentraciones extremadamente pequeñas. Se pueden emplear en el diagnóstico médico, el control de vertidos, las fugas de gas, etc. Otra posibilidad que nos interesa claramente a los seres humanos es la regeneración o reparación de tejidos y órganos dañados del cuerpo humano mediante materiales nanotecnológicos.

93

En resumen, si atendemos a sus campos principales de investigación, desarrollo e innovación, podemos concebir la nanobiotecnología como la aplicación de herramientas, componentes y procesos provenientes de la nanotecnología a los sistemas biológicos, lo que si se centra en el ser humano supone todo el ámbito de la nanomedicina; paralelamente, constituye también nanobiotecnología el empleo de los sistemas biológicos como inspiración y, en sentido literal, como moldes o como fuente de componentes para el desarrollo de nuevos productos de escala nanométrica -en especial los nanodispositivos electrónicos, como son los nanobiosensores (Lechuga, 2009).

Tabla 1. Definición y sectores de la nanobiotecnología, con ejemplos

CAMPOS DE LA NANOBIOLOGÍA/BIONANOTECNOLOGÍA	
Aplicación de las nanotecnologías al ámbito de lo biológico: instrumentos, materiales, nanodispositivos (nanotecnología como herramienta)	
<p>Análisis y control de los sistemas vivos: aplicaciones diversas en biología y medio ambiente</p> <p>Ejemplo: estudio de las biomoléculas y de los tejidos de los organismos con microscopios y otros dispositivos de imagen, empleo de MOF (materiales metal-orgánicos) para catálisis y depuración</p>	<p>Nanomedicina: aplicaciones relativas a la salud del ser humano. Prevención, diagnóstico, tratamiento y regeneración/repuración de tejidos y órganos</p> <p>Ejemplo: nanopartículas magnéticas para señalización y tratamiento de tumores, imagen médica in vivo, encapsulación de medicamentos</p>
Aplicación de la biología al ámbito de lo nanotecnológico: como inspiración y como componentes de nanoartefactos	
<p>Imitación de la naturaleza (biomímesis)</p> <p>Ejemplo: motores moleculares inspirados en biomotores, células artificiales para fabricación de sustancias</p>	<p>Empleo de elementos biológicos con fines prácticos para medio ambiente, prevención de riesgos y demás</p> <p>Ejemplo: nanobiosensores para la detección de contaminación ambiental y de sustancias peligrosas en entornos laborales y domésticos</p>

94

Fuente: elaboración propia

1. La investigación social de la convergencia nano-biotecnológica

Hemos mencionado que la razón más evidente de la convergencia bio-nano descansa en la escala en la que cabe operar a nivel tecnológico, esto es, la nanoescala, que permite una enorme variedad de interacciones interesantes y útiles entre lo orgánico y lo inerte. Ahora bien, si esta razón tiene que ver con la posibilidad real de intervenir tecnológicamente para explotar tales interacciones, es claro que la motivación última de prácticamente todo desarrollo tecnológico y proceso de innovación es la obtención de productos y procesos útiles, viables y, a la postre, rentables desde el punto de vista económico. Por cierto que la propia dinámica de las investigaciones nanotecnológicas, cualquiera que sea su objetivo, tiende a la colaboración multi e interdisciplinar. En la nanobiotecnología encontramos el trabajo

conjunto de investigadores de las ciencias experimentales tradicionales como la física y la química, con ingenieros de variadas especialidades, biólogos, investigadores médicos y de la salud, entre otros. Ahora bien, esta colaboración entre expertos de diversas tradiciones académicas es impulsada por el hecho de que lo que interesa primordialmente a las autoridades públicas, a las empresas y a la sociedad es una investigación orientada a fines concretos, a la resolución de problemas prácticos reales, ya sea para la obtención de un beneficio económico, la resolución de problemas sociales o la búsqueda individual del bienestar (De Cózar, 2004). En este punto, como sucede con cualquier otro conjunto de tecnologías, es preciso iniciar la evaluación de las nanobiotecnologías no sólo desde el punto de vista técnico o económico, sino igualmente ético, legal y social (Ach y Weidemann, 2009; Bruce, 2006; Casado, 2010; Jotterand, 2008; Riechmann, 2009).

Vivimos tiempos en los que resulta palmario que la mano invisible del mercado no suele coincidir con las conductas éticas, al menos tal y como las entendemos la mayoría de los ciudadanos. Sin negar en ningún momento que diversas aplicaciones nanobiotecnológicas sean altamente beneficiosas para la salud y la calidad de vida de las personas y el buen estado del medio ambiente, es evidente que los intereses comerciales tras el desarrollo de las nanobiotecnologías son formidables. Por circunscribirnos a un ámbito, el biomédico, baste pensar en el potencial comercial de los nuevos sistemas de diagnóstico, los fármacos, los tratamientos y las prótesis que incorporan nuevos materiales.

Además, las innovaciones nanobiotecnológicas poseen un grado de factibilidad razonable, es decir, en su conjunto parecen mucho más cercanas que los famosos “nanobots”, los diminutos robots tan asociados a las expectativas de los inicios de la nanotecnología. El ensamblaje molecular es una propiedad de la vida que puede ponerse al servicio de fines comerciales. Por si esto no fuera suficiente, los costes parecen a primera vista moderados en tanto los organismos modificados por la nanotecnología serían más baratos de producir que otros dispositivos puramente materiales (falta por controlar la producción a gran escala de estas nanobioentidades).

95

La convergencia de las biotecnologías con las nanotecnologías supone un proceso de gran significado científico, técnico y social, dada la capacidad transformadora de lo real de la combinación nano-bio. Es de prever un gran número de repercusiones sociales y ambientales, desde pequeñas mejoras incrementales en tecnologías ya bien asentadas (como filtros, sensores, materiales para prótesis, medicamentos) hasta innovaciones inimaginables hoy en día. Desde la perspectiva filosófica, se plantean interrogantes perturbadores sobre la difuminación de las separaciones conocidas entre un ser vivo y uno inerte, lo natural y lo artificial, una entidad biológica y su entorno, e incluso, a más largo plazo, entre un ser humano y un ser “post” o “trans-humano” (De Cózar, 2010 y 2011).

Ante esta perspectiva, es innecesario subrayar la necesidad de la investigación social en nanobiotecnología (De Cózar, 2009). Esta investigación puede adoptar una variedad de formas. Por un lado, tenemos la aplicación de metodologías estándar como son las encuestas de percepción, el método Delphi, los grupos de discusión, el

análisis del discurso y de la comunicación científica. Por otro, la investigación participante, más inspirada en las tradiciones antropológicas. Debido al desconocimiento en el que nos encontramos sobre la nanobiotecnología en su proyección social, cualquier método o técnica encuentra su justificación y su utilidad; siempre, claro está, que se cumplan los requisitos exigibles de calidad en su diseño y aplicación.²

Como criterio básico, es importante no perder de vista que el discurso sobre la nanobiotecnología, tomada así, en singular, resulta por lo común excesivamente simplificador. La realidad de la nanobiotecnología es múltiple y heterogénea. Aunque por razones estilísticas recurrimos indistintamente al singular o al plural, tengamos siempre en mente que lo que hay que analizar es cada innovación nanobiotecnológica en lo que tiene de distintivo. No obstante, centrarse en el plano discursivo general puede servir de tanto en tanto para clarificar mejor la argumentación y simbología (de apoyo o de rechazo) que se van elaborando en torno a las nanobiotecnologías, las representaciones de orden más amplio que las amparan o ponen en cuestión.

Entre las principales cuestiones que deben preocupar en una investigación social de las nanobiotecnologías se destacan las siguientes:

1. Análisis y gestión del riesgo. Los riesgos nanobiotecnológicos pueden ir desde toxicidad y ecotoxicidad hasta riesgos más difusos pero de gran calado, que tienen que ver con el incremento de las desigualdades sociales. Es preciso ir más allá de los enfoques puramente tecnocráticos, ampliando el punto de vista hacia una evaluación constructiva o participativa - en definitiva social- del riesgo tecnológico.

2. Diseminación de resultados y comprensión pública. La comunicación de los conocimientos y aplicaciones de la nanobiotecnología -pero también de las incertidumbres-, la comprensión o incomprensión de los ciudadanos sobre estos temas y la educación científico-tecnológica son elementos fundamentales para que los diferentes públicos estén en condiciones de debatir las cuestiones en juego relativas al despliegue de la nanobiotecnología en la sociedad.

3. Transferencia tecnológica. Incluye asuntos tales como el reforzamiento de la articulación interna de los grupos de investigación y actores relevantes (administradores, empresarios, gestores, responsables de asociaciones civiles, etc.), así como todo tipo de metodologías organizativas y estratégicas que mejoren los procesos de transferencia de las innovaciones nanobiotecnológicas hacia los diferentes sectores de la sociedad.

4. (Nano)bioética y (nano)biopolítica. Son nuevos ámbitos que recogen la reflexión y el discurso específicos de carácter ético y político para abordar los problemas que trae consigo (y acarreará en el futuro) el desarrollo de la nanobiotecnología.

2. Si bien de algún modo se está presuponiendo en estas líneas que la investigación social es aquella que es realizada por sociólogos, antropólogos y otros investigadores formados en el campo de las ciencias sociales, en realidad hay que ampliar el foco de la discusión para incluir las investigaciones relevantes que se realizan también en el campo de la filosofía y de las humanidades en general. Por ejemplo, en una sección posterior mencionaremos algunos temas bioéticos y biopolíticos que tradicionalmente son abordados por filósofos (si bien no exclusivamente por ellos).

5. Sostenibilidad. La búsqueda de la sostenibilidad, a pesar de las interminables controversias sobre su significado exacto y las maneras de alcanzarla, supone un desafío que no puede ser pospuesto por más tiempo, a tenor de las abrumadoras crisis ambientales que nos amenazan. ¿Qué papel pueden jugar las nanobiotecnologías en ello?

2. Análisis y gestión del riesgo nanobiotecnológico

El desarrollo de las nanobiotecnologías lleva aparejado una serie de riesgos que abarcan una escala muy amplia a nivel temporal (corto, medio y largo plazo) y en cuanto al grado de probabilidad de que realmente se materialicen. Los riesgos más evidentes y que más preocupan a día de hoy son los relativos a la toxicidad y ecotoxicidad de nanopartículas y nanomateriales. Esa toxicidad puede darse en su mismo origen, en los centros de investigación y producción industrial, y llegar hasta el fin de ciclo del producto (eliminación o reciclado del residuo), pasando por su almacenaje y uso (Ostiguy, Roberge, Woods y Soucy, 2010). Un campo especialmente sensible en relación a la posible toxicidad y otros efectos secundarios negativos es el de los métodos de diagnóstico, nuevos medicamentos y tratamientos médicos (nanomedicina).³

También hay que tener en cuenta las posibles fugas de material nanobiotecnológico y su propagación accidental en el medio ambiente o entre las personas. Este tipo de riesgos, en principio, serían similares a los asociados a las biotecnologías y a la biología sintética, incluidos los posibles usos con fines militares o terroristas.

97

Los productos de la nanobiotecnología podrían ser empleados para acceder de manera ilegítima a información personal (por ejemplo mediante nanobiosensores), para la vigilancia e incluso para el control de las personas mediante implantes y otros dispositivos. Asimismo, pueden darse casos de efectos psicológicos negativos producidos en una persona por el conocimiento de un diagnóstico altamente fiable sobre una enfermedad que padece todavía sin síntomas, o que padecerá en el futuro, y para la que no existe tratamiento.

Hay otra categoría de riesgos que no tiene tanto que ver con efectos directos en la salud y el medio ambiente o en la seguridad de las personas como con los efectos indirectos causados por las dificultades en el acceso a los beneficios que estas tecnologías puedan reportar. Tales dificultades tendrían que ver ante todo con la desigual distribución de la riqueza en el mundo (lo que referido a las nanotecnologías se conoce como “nanodivisión”).

A más largo plazo, estarían los tan debatidos riesgos “futuristas” derivados de plagas de nanorobots auto-replicantes, que amenazarían la naturaleza y la vida humana. Lo cierto es que, aunque se pongan los medios para evitar este tipo de catástrofes, hay riesgos que parecen de ciencia ficción, pero que gradualmente pueden ir dándose a medida que se extiendan los avances de las nanobiotecnologías.

3. Véase *Nanomed Roundtable* (2010) para una revisión de los aspectos éticos y sociales de la nanomedicina.

De continuar por la senda abierta, los seres humanos irán “maquinizándose”, transformándose en seres híbridos, o por usar una palabra ya familiar, en “ciborgs”, como de hecho ya está comenzando a suceder, al integrar en su cuerpo elementos naturales y artificiales. La propia artificialidad de los productos nanobiotecnológicos cada vez se irá difuminando más, sobre todo si son de tipo “blando”, es decir, si hacen uso de materiales biológicos ya existentes o derivados de ellos. Estas consecuencias no afectarían solo a nuestra especie. Las separaciones tradicionales entre mundo artificial y realidad natural se irán tornando más y más borrosas. La interpretación que se haga de este proceso de hibridación puede ser positiva, negativa o ambivalente.

Aquí conviene efectuar una observación de carácter metodológico. La incertidumbre, complejidad y ambivalencia asociadas a los riesgos de las nanobiotecnologías requiere superar los enfoques tecnocráticos de la identificación, análisis y gestión del riesgo. La experiencia pasada nos indica que ninguna de estas actividades puede quedar exclusivamente en manos de los expertos a la hora de identificarlos y valorarlos, ni tampoco de los responsables públicos en lo que atañe a las decisiones que hay que tomar al respecto. Se precisa de una participación más amplia de los ciudadanos a la hora de decidir si algo es o no un riesgo, y sobre todo, de si es o no un riesgo asumible. Por eso abogamos por desarrollar y emplear metodologías constructivas o participativas para el análisis, evaluación y gestión de los riesgos nanobiotecnológicos (Rip, 2008). Estos enfoques metodológicos identifican y ponen a colaborar a toda la serie de actores relevantes alrededor de una innovación, y lo hacen en tiempo real, mediante una serie de deliberaciones y acciones que comienza con la propia visión de una tecnología, continúa con su diseño y aplicación (en su caso), y -no menos importante- con un seguimiento de la innovación a lo largo del tiempo. Para ello, se deben cumplir unos criterios relativos a la representación democrática de todos los afectados, a fin de garantizar una deliberación y toma de decisiones justas.

98

3. Diseminación de resultados y comprensión pública

La comunicación social de la ciencia y, en este caso, la diseminación de los resultados científicos y productos de la nanobiotecnología, supone mucho más que la transmisión de unos conocimientos o informaciones, como si sólo se tratara de la elaboración de un mensaje que va, unidireccionalmente, del emisor (el experto) al destinatario (el público). Se requiere incidir en la información significativa, la que se conecta con lo que ya sabemos, con los valores asumidos, con las guías para la acción (Nanobio-raise, 2008). En efecto, uno de los principales problemas de la comunicación de la ciencia reside en el hecho de que los expertos o los profesionales de la comunicación relatan los logros obtenidos sin que los destinatarios entiendan en qué medida esa información tiene que ver con lo que previamente conocen o, peor, con lo que cotidianamente experimentan sin a veces tener plena conciencia de ello. El *framing* -enquadre o enmarcado de la información- se convierte así en una cuestión que va mucho más allá del éxito de una estrategia de marketing, que es para lo que frecuentemente se lo emplea. El mensaje es algo que debe ser construido pragmáticamente entre todos, los emisores y destinatarios del mismo.

La comprensión pública de la ciencia y de la tecnología -y la nanobiotecnología no es una excepción- viene de la mano del diálogo, del intercambio de ideas y de la elaboración o coproducción del “mensaje” entre los expertos, los actores o los agentes (*stakeholders*). En definitiva, es necesaria la implicación de todos los que tengan algún tipo de interés en los asuntos tratados o que se vean afectados de una manera u otra por las aplicaciones nanobiotecnológicas (los “públicos”). Los esfuerzos actuales de la UE para la comunicación y diseminación de la nanotecnología y de otras tecnologías convergentes van precisamente en esa dirección.⁴ Hay que transitar desde una imagen unitaria y pasiva del “público” a otra en la que surgen múltiples destinatarios, audiencias o “públicos”, con diferentes perfiles, intereses, posibilidades de interacción. Todo ello con vistas a desarrollar una innovación responsable y más en general, un buen gobierno (o “gobernanza”) de la ciencia y de la tecnología.

La inspiración básica tras este planteamiento es la de que la comprensión de las distintas realidades de la nanobiotecnología vendrá de la mano de una implicación activa y continuada por parte de todos los sectores implicados. En el proceso es crucial la elaboración de representaciones sociales adecuadas de las innovaciones, la creación de imaginarios sociales, ya sean negativos (cuando resulte necesario para prevenir situaciones inaceptables), ya positivos (cuando se concuerde con ello), ya ambivalentes (cuando no quepa optar fácilmente por una u otra de las alternativas anteriores).

4. Transferencia de las nanobiotecnologías

99

El éxito del proceso que discurre desde la investigación básica hasta la puesta en uso de una innovación específica en condiciones reales (pasando por la prueba del concepto, el diseño, los prototipos y la fabricación del producto) depende de una multitud de factores, parte de los cuales posee, por expresarlo así, un “carácter intangible”. A pesar de la vasta literatura sobre estas cuestiones, y de la experiencia acumulada a nivel internacional, todavía no se ha establecido con la suficiente precisión un conjunto de condiciones que permita garantizar el éxito del proceso. Factores no tenidos en cuenta, insospechados o simplemente mal gestionados, ponen en peligro la continuidad de una investigación y de un proceso de desarrollo a menudo muy costoso en términos de esfuerzo investigador y de recursos empleados.⁵ Las concepciones lineales del proceso de transferencia, hasta hace poco dominantes, se han revelado erróneas, pues entre otras razones no tienen suficientemente en consideración la multidimensionalidad de los factores intervinientes y las interacciones o bucles entre los distintos elementos y etapas.

4. Véase por ejemplo el extenso informe de la Comisión Europea (2010) sobre comunicación de la nanotecnología.

5. Por descontado, un conjunto fundamental de factores implicados en la transferencia tecnológica son los de carácter económico, pero no van a ser abordados en lo que sigue, debido a su complejidad técnica y al hecho de que requerirían un espacio muy amplio para ser tratados adecuadamente.

Entre los factores más importantes para una transferencia tecnológica con éxito se encuentran los relativos a la comunicación y coordinación armoniosa de los distintos actores humanos relevantes. Parte de estos actores pertenecen a la esfera “interna” de la innovación. Son los investigadores, gestores y expertos en el campo a la que va destinada (por ejemplo, el ámbito sanitario). Otros actores son “externos”, como son los distintos agentes sociales, los poderes públicos con influencia en el marco regulador y los beneficiarios del proceso (tales como los usuarios o pacientes). La separación entre la esfera interna y externa sólo puede revestir un carácter metodológico, puesto que el éxito de la transferencia depende precisamente de una interacción fructífera entre todos los actores. Desde hace un tiempo, se vienen desarrollando una serie de propuestas teóricas, metodológicas y prácticas cuyo fin, precisamente, es el de contribuir a la mejora de la evaluación (*ex ante* y *ex post*) y de la transferencia tecnológica, promoviendo un diseño del sistema tecnológico que contemple la articulación eficaz y justa de todas las partes implicadas. Se persigue una “co-construcción” de la innovación que evite los polos extremos del fracaso, por un lado, y de una imposición irreversible, por otro, pero con escasa aceptabilidad social. No se debe olvidar que las tecnologías a menudo implican una particular visión del mundo donde son aplicadas (creación de escenarios), así como un conjunto de relaciones sociales. Esta visión puede ser “inscrita” en el propio objeto técnico o bien en las formas organizativas en las que opera. La viabilidad de una innovación depende así, crucialmente, de que todos los actores relevantes en su producción y puesta en uso puedan colaborar de manera cohesionada y eficaz en la elaboración de dicho guión o código técnico (Feenberg, 1999) y en la evaluación del proceso de desarrollo en todas sus fases, además de llevar a cabo un seguimiento del mismo en el tiempo, propiciando los reajustes necesarios de la configuración técnica de la innovación en cuestión, de la organización social en la que se sustenta o de ambas (Guston y Sarewitz, 2002).

100

Un primer aspecto del problema son las posibles fricciones entre los grupos de investigación como consecuencia de los vicios organizativos que impone la propia estructura académica de investigación (en el caso de la investigación no realizada en empresas privadas, obviamente). La forma que tienen los grupos de investigación de obtener financiación de la administración les obliga a diferenciarse para competir entre ellos por los mismos recursos, unos recursos que son limitados. Esta situación de base complica la idea primordial de anar esfuerzos y de promover una investigación multidisciplinar que cree sinergias innovadoras. Los grupos deben apoyarse y ceder conocimiento a otros grupos, tal vez al estilo de los *clusters* de empresas innovadoras, para lograr acceder a una financiación de ámbito superior (suprarregional, nacional, internacional) y en cantidades mayores. Esto requiere un esfuerzo previo de “diseminación horizontal”, que permita hacer entender a los grupos de investigadores que la unión con sus posibles competidores será a la larga más beneficiosa para sus intereses, aunque para ello tengan que ceder (compartir) parte de sus recursos propios y de sus resultados (artículos y patentes, básicamente).⁶

6. Andrés Núñez, comunicación personal. Véase también su contribución en este mismo volumen.

En segundo lugar, es preciso abordar con rigor la cuestión de la interdisciplinariedad: en tecnologías emergentes como son las nanobiotecnológicas, así como en buena parte de los procesos de transferencia de las mismas, se requiere la configuración de equipos interdisciplinares altamente cohesionados. Surge la dificultad de articular el esfuerzo de actores provenientes de distintas “culturas” académicas y profesionales, con intereses, trayectorias y experiencias a menudo muy heterogéneas. Como ejemplo, recordemos que los investigadores científicos tienen por finalidad un reconocimiento profesional basado en la producción de artículos y otros textos académicos, por lo que deben hacer un esfuerzo de adaptación a los objetivos y peculiaridades de las dinámicas de innovación y transferencia. Por si fuera poco, aunque los investigadores están considerando la colaboración interdisciplinar una realidad cada vez más ineludible por la propia dinámica interna de los problemas de investigación en sus disciplinas y por presiones externas obvias, lo cierto es que se producen problemas de comunicación entre especialistas de diversos campos incluso en un ámbito tan interdisciplinar de suyo como es el de la nanobiotecnología. Así, antes de que el conocimiento adquirido pueda transferirse al resto de la sociedad, es necesario articularlo desde “dentro”, en la comunidad de los propios generadores del conocimiento.⁷

Además, nos encontraremos con actores que no sólo pertenecen al equipo de investigación en sentido estricto, sino a un colectivo más amplio que, sin embargo, es fundamental para que la investigación acabe dando lugar a aplicaciones viables en la práctica. El problema es de mejora de la comunicación entre actores internos (promotores de la innovación) y externos (destinatarios de la innovación y otros actores con competencia en su aplicación), pero también estructural, dado que ambos colectivos responden a percepciones e intereses a menudo no coincidentes (Callon, Lascoumes y Barthe, 2001). Tales problemas deben resolverse mediante formatos adecuados de intercambio (facilitación de “eventos puente” y “espacios comunes de reflexión e interacción”) que permitan llegar a acuerdos duraderos.

101

Los investigadores sociales pueden desempeñar en estos asuntos una función de innegable peso. Realizando su labor tradicional, pueden contribuir con nuevos conocimientos que mejoren la transferencia de las nanobiotecnológicas. Pero es que, además, pueden actuar como “mediadores” entre los generadores del conocimiento y de la tecnología (la esfera de los expertos) y el resto de los actores implicados en la transferencia tecnológica (Baya Laffite y Joly, 2008). Pueden incluso trabajar en el marco de “unidades de apoyo” ya situadas dentro de los centros tecnológicos para cubrir estos aspectos organizativos, sin descuidar la identificación de riesgos, la difusión de conocimientos o el asesoramiento en materia ética, así como otras dimensiones cruciales de la generación y transferencia de las nanobiotecnológicas, de manera análoga a la que se está describiendo en las presentes páginas.

7. Andrés Núñez y Clara Barroso, comunicación personal. Véase igualmente el artículo de esta autora incluido en el presente dossier.

5. Nanobioética y nanobiopolítica

Lo que estos términos tengan de extraño y carente de elegancia no debe hacernos perder de vista que apuntan a un conjunto de cuestiones significativas, algunas de ellas de hondo calado. La reflexión ética y política encuentra aquí sobradas razones para su despliegue.

Si adoptamos una posición, por decirlo así, lógica, yendo desde lo más amplio a lo menos amplio, la nanobioética puede ser considerada como una sub-área de la nanoética: aquella que se ocupa de aplicaciones nanotecnológicas que tienen relación con lo biomédico, lo biotecnológico, la agricultura o la alimentación (Malsch y Hvidtfelt-Nielsen, 2010). Pero también cabe entender la nanobioética como una sub-área de la bioética, esto es, aquella en la que la nanotecnología desempeña un papel relevante. En realidad, lo verdaderamente importante no es si la nanobioética pertenece a una u otra rama de la ética aplicada, sino las implicaciones éticas del fenómeno de convergencia nano-bio.

Con el fin de poder emplear el término sin enredarse en prolijas disputas definicionales, sugerimos la adopción de un punto de vista pragmático, en un sentido filosófico del término. Una vez reconocida la posible utilidad del término “nanobioética”, podemos pasar a preguntarnos por los campos de la actividad científico-tecnológica de los que podríamos aceptar que guardan una relación estrecha con lo sugerido por tal término. A tal fin, cabe fijar nuestra atención en los debates actuales. Pues bien, en las áreas de la nanobioética (y de las relaciones nanobiotecnología-sociedad), los debates científicos, públicos y filosóficos giran alrededor de cinco grandes temas:

- mejora humana (*human enhancement*)
- biología sintética
- nanomedicina
- agricultura-alimentación (*agrifood*)
- experimentación con animales.⁸

Por supuesto, ésta es una de las clasificaciones posibles. Por ejemplo, podrían incluirse las cuestiones ambientales y de seguridad en la lista. Ahora bien, tales cuestiones se suscitan, inevitablemente, al hilo de la discusión de los temas que acabamos de enumerar.

Un campo importante aquí son los códigos de conducta de los investigadores, las buenas prácticas en las empresas, las certificaciones de calidad y la auto-regulación en general. Hay que examinar con detenimiento la eficacia de tales medidas, si no van acompañadas de otras de mayor nivel y carácter obligatorio. Por ejemplo, en el caso de las empresas, muchas comienzan a ser reacias a la hora de suministrar información sobre los productos que manufacturan y sobre las medidas que toman en

8. Seguimos aquí la clasificación de Malsch y Hvidtfelt-Nielsen (2010).

el proceso de producción, probablemente por temor a reacciones hostiles por parte del público. Y por lo que respecta a los investigadores, muchos prefieren contar con normas de obligado cumplimiento que vengan “desde arriba” a la auto-regulación mediante códigos voluntarios de conducta, pues así se sienten más seguros en relación a las prácticas que pueden o no realizar.

Sea como fuere, interesa una interpretación amplia de “bioética”, que no se restrinja a los aspectos éticos en sentido estricto, sino que incluya también los aspectos legales y sociales (lo que en inglés se denomina ELSA: *Ethical, Legal and Social Aspects*).⁹ Cuando evaluamos las aplicaciones reales o potenciales de las nano y biotecnologías estas cuestiones surgen a menudo entrelazadas de una manera inextricable con los interrogantes específicamente éticos (Nanobio-raise, 2007).

Lo mismo vale para los aspectos políticos. La biopolítica es una reflexión ya bien establecida a partir de los trabajos seminales de Michel Foucault, seguidos por los de otros autores, como Giorgio Agamben (2003, 2004) o Roberto Esposito (2006).¹⁰ Por medio de tecnologías tan poderosas como las que estamos contemplando, que previsiblemente incrementarán notablemente su poder en un futuro cercano, los estados y otros poderes pueden intervenir sobre los seres humanos con el fin de vigilarlos, controlarlos, “mejorarlos” o castigarlos. Los individuos pueden interiorizar, literalmente, tecnologías que les permitan servir mejor unos supuestos intereses generales, similarmente a como han ido interiorizando “valores” y creencias para auto-limitarse e incluso para auto-castigarse.

Una de las definiciones pertinentes de la esfera biopolítica es la del ordenamiento de cada forma de vida (Mendiola, 2009: 9). Ahora bien, notemos que ello abarca no sólo la vida humana, sino cualquier otra, al menos en nuestro planeta, en tanto se halle sujeta a una gubernamentalidad estatal o supraestatal. Por consiguiente, la biopolítica podría ser concebida como una expresión de la “cosmopolítica”, en el sentido otorgado a este término por Isabelle Stengers (2003) y Bruno Latour (2004).¹¹ Ello quiere decir, no un llamamiento a la universalidad o a la vida en las grandes metrópolis, sino una “política del cosmos”. La política siempre ha versado sobre las cosas y sobre la materia. El balance se debería buscar a través de estos dos términos griegos: “cosmos” es lo que asegura que la política no sea sólo cuestión de los beneficios que puedan obtener unos humanos aislados; “política” es lo que asegura que el cosmos no sea completamente naturalizado y con ello mantenido totalmente aparte de las acciones humanas. Latour nos recuerda que en griego “cosmos” significa un orden, una disposición, una manera de “componer agencias”. Hablar de cosmopolítica es proponer que el mundo ha de ser compuesto antes que desvelado, poseído, señoreado o abandonado por algún otro mundo (Latour, 2011: 73).

La nanobiotecnología demanda así una cosmopolítica de los enredos entre humanos, seres vivos y artefactos. Involucra, por decirlo así, una biopolítica ampliada

9. O ELSI, por *Ethical, Legal and Social Issues*.

10. Una revisión reciente se encuentra en Fernández Agis (2011).

11. Véase, más recientemente, Latour (2011). Cf. también Kera (2007).

donde hay que hacer hueco a una extensión tremenda del número de los no humanos, vivientes o artificiales. Y además, por la clonación, los híbridos nanobiotecnológicos y los productos de la biología sintética, habría que incluir la tercera categoría, relativa a lo que es simultáneamente ambas cosas, es decir, una entidad viva y artificial.

La “intimidad” que el desarrollo tecnológico (y, en este caso, de las nanobiotecnologías) propicia con el cuerpo, los entes vivos, sustancias, dispositivos y artefactos, apenas si resulta visible. Sin la ayuda de los conocimientos científicos y del arsenal de instrumentación técnica que los posibilitan y acompañan, estas conexiones humano / no humano distan de ser sencillas de detectar por todos, resultando tanto más difíciles de descubrir para el común de los ciudadanos. Con el fin de visualizar los efectos que se propagan por la biopolítica de la nanomedicina, pongamos por caso, necesitamos saber lo que nos dicen los experimentos de los laboratorios, familiarizarnos con las nuevas técnicas y comunicarnos con los expertos. Así pues, se requiere una mediación científica y técnica. No obstante, esta mediación es sólo uno de los factores intervinientes. Si nuestros problemas en tanto que “público” son por lo general los de visualizar las consecuencias indeseadas de nuestras acciones (Dewey, 1954), entonces -gracias a un apropiado proceso de investigación científica y social- debe propiciarse el advenimiento de un público nuevo para la nanobiotecnología. Aquí la representación política de las nanobiotecnologías se combina con la representación epistemológica. Este es el campo, realmente, para una epistemología política de las nanobiotecnologías. Las cadenas representacionales de calidad (en su doble vertiente, epistemológica y política) deben unir el laboratorio con la esfera de la decisión pública. Este público de la nanobiotecnología así constituido, mediante los nexos establecidos entre investigación y decisión, ha de llegar a ser un poder político que contrarreste aquellos poderes que lo son de facto en este ámbito, sin en muchos casos poseer la debida legitimidad democrática.

104

6. Sostenibilidad

Es innecesario remarcar aquí cómo se abusa de este término para enmascarar todo tipo de intenciones e iniciativas que poco o nada tienen que ver con una concepción seria sobre cómo lograr formas de vida humana y no humanas en equilibrio con el entorno y perdurables en el tiempo. Sin embargo, a falta de otro concepto mejor, es legítimo y útil emplear el de sostenibilidad, siempre que tengamos en cuenta sus múltiples dimensiones ecológicas, sociales y económicas.

¿Cómo encaja la nanobiotecnología en esta complejísima realidad de lo sostenible y lo insostenible? Sobre todo se trata de una “sostenibilidad aplicada”, es decir, tiene que ver más con la aplicación concreta de la ciencia y de la innovación en materia nanobiotecnológica a las necesidades humanas (y ambientales) que con la elaboración de grandes esquemas abstractos. Ahora bien, esta orientación aplicada de la sostenibilidad, que en principio parece positiva por ser más específica y tal vez más eficaz, puede transformarse en una excusa para fragmentar en diminutas piezas el problema de propiciar un enfoque sostenible integral del entorno y de nuestras

vidas. En otras palabras, puesto que hay múltiples aplicaciones nanobiotecnológicas, el peligro de que se conviertan en *business* as usual es evidente. Por ejemplo, un nanobiosensor puede ser útil para controlar la contaminación ambiental, y en ese sentido afirmar su fabricante que contribuye a la sostenibilidad, al tiempo que produce más contaminación, o más peligrosa, en su fabricación o su desecho (por no contar con posibles efectos imprevistos).

La evaluación y transferencia de tecnologías, dentro de los planteamientos bosquejados anteriormente, debería impedir este tipo de maniobras retóricas. Una visión seria de la sostenibilidad, incorporada al diseño, ha de aparecer desde el comienzo en cualquier innovación nanobiotecnológica. Y debe ser el fruto de un debate amplio, no quedar solo en manos de las definiciones y establecimiento de las condiciones del problema (y por tanto de su solución) establecidas por los expertos. Sabemos por amarga experiencia que las soluciones a los problemas ambientales no pueden descansar únicamente en la tecnología, por muy brillante que ésta sea.

Dicho esto, las nanobiotecnologías pueden realizar una contribución nada desdeñable a la sostenibilidad aplicada en cuestiones bien delimitadas de la gestión ambiental, la gestión del agua y en materia energética. Qué derroteros tomarán estas innovaciones (si verán realizadas sus promesas o acabarán constituyendo tan sólo una oportunidad de negocio o incluso acabando en incuestionable fracaso) es todavía una incógnita (Maclurcan y Radywyl, 2011).

Mientras tanto, subrayemos la importancia de otro concepto igualmente amplio, pero más especificable técnicamente que el de sostenibilidad. Se trata del concepto de resiliencia. De hecho, es primeramente y antes que cualquier otra cosa un concepto técnico. Se refiere a la propiedad de ciertos materiales de recuperar su forma original después de que se les haya aplicado una fuerza que los dobla, estira o comprime. Es una propiedad cercana a la elasticidad, pero que se emplea en otros contextos (de la ecología, de la psicología, entre otras disciplinas) para subrayar la capacidad de reponerse de un estrés, de una perturbación de algún tipo. La resiliencia mide así la capacidad de un ecosistema para recuperarse de una agresión, sea producida por un cambio brusco de las condiciones climáticas, por la aparición de especies foráneas, por la acción humana o por otras causas. La resiliencia se puede aplicar también a los sistemas socio-técnicos, es decir, los sistemas formados por colectivos humanos y artefactos. Las nanobiotecnologías han de ser diseñadas para ser resilientes ellas mismas y, asimismo, para contribuir a la resiliencia de los sistemas en los que se inserten con objeto de combatir la vulnerabilidad que amenaza dichos sistemas. En todo caso, sería pernicioso que las aplicaciones de las nanobiotecnologías aumentaran dicha vulnerabilidad, su fragilidad y dependencia de factores exógenos difícilmente controlables o inesperados.

105

Conclusiones

El campo de la nanobiotecnología representa un amplio y heterogéneo conjunto de aplicaciones reales o potenciales en la intersección (e incluso hibridación) de lo vivo y lo inerte. Todas ellas tienen en común el diseño, construcción y manipulación de

entidades en el rango de 1 a 100 nanómetros, empleando enfoques basados en la biología o para el beneficio de los sistemas biológicos. La nanobiotecnología posee una gran transformadora de la realidad social y natural, debido a la convergencia de dos tecnologías de por sí poderosas -nanotecnología y biotecnología-, las cuales se refuerzan mutuamente, propiciando así un mejor control de las interacciones entre lo vivo y lo inerte, lo natural y lo artificial, lo humano y lo no humano.

La nanobiotecnología presenta dos grandes vertientes: la aplicación de nano a bio (aplicaciones en el medio ambiente y en los seres vivos, incluida la nanomedicina) y aplicación de bio a nano (biomímesis, hibridación). Se espera que las aplicaciones nanobiotecnológicas tengan numerosas repercusiones en todos los órdenes de la realidad social. Es de prever que se generarán significativos beneficios individuales y sociales, pero asimismo riesgos para la salud, la seguridad, el medio ambiente, así como otras consecuencias más a largo plazo, que atañen al acceso a los bienes y a la misma concepción de lo que significa ser humano. Dada la variedad y potencial impacto de las innovaciones nanobiotecnológicas, está más que justificado su estudio desde el punto de vista de la investigación social empleando una diversidad de metodologías. Entre los principales temas que ya se están abordando por un conjunto de estudiosos de las ciencias sociales y de las humanidades, se encuentran los siguientes:

1. Análisis y gestión del riesgo. Se intenta ir más allá de los enfoques puramente tecnocráticos, es decir, ampliar el punto de vista hacia una evaluación constructiva y participativa -en definitiva social- del riesgo nanobiotecnológico.
2. Diseminación de resultados y comprensión pública. La comunicación de los conocimientos, aplicaciones e incertidumbres relacionadas con la nanobiotecnología, la comprensión o incompreensión del público sobre estos temas y la educación científico-tecnológica son elementos fundamentales para que los diferentes públicos estén en condiciones de debatir las cuestiones en juego relacionadas con el despliegue de la nanobiotecnología en la sociedad.
3. Transferencia de tecnologías. Se busca reforzar la articulación interna de los grupos de investigación y el resto de actores relevantes (administradores, empresarios, gestores, responsables de asociaciones civiles, etc.), así como todo tipo de metodologías organizativas y estratégicas que mejoren los procesos de transferencia de las innovaciones nanobiotecnológicas hacia los diferentes sectores de la sociedad.
4. (Nano)bioética y (nano)biopolítica. Constituyen la reflexión y discurso específicos de carácter ético y político elaborados con el fin de tratar los problemas que ya conlleva el desarrollo de la nanobiotecnología o que acarreará en el futuro.
5. Sostenibilidad. Dejando de lado los múltiples abusos de este término, lo cierto es que continúa siendo crucial la determinación de las estrategias que permitan desarrollar y hacer perdurar en el tiempo unos estilos de vida más respetuosos con la naturaleza y dotados de mayor resiliencia.

La lectura de las descripciones contenidas en las páginas precedentes habrá llevado a la conclusión de que todos estos temas se refuerzan mutuamente. Por ejemplo, la

evaluación de riesgos depende de una mejor comunicación, transferencia y participación social; si presenta resultados positivos, mejorará las perspectivas de un enfoque sostenible de las nanobiotecnologías, incluidos los aspectos ético-políticos; y así sucesivamente. Se requiere la aplicación de herramientas metodológicas de evaluación que analicen los nuevos productos en todas las fases de su ciclo de vida, que incorporen múltiples criterios (técnicos, éticos, sociales). Es preciso profundizar en métodos que permitan tornar los resultados de la evaluación en opciones políticas claras, que faciliten la toma de decisiones informadas en contextos de complejidad e incertidumbre, como son los que caracterizan el despliegue de las nanobiotecnologías en nuestras sociedades. El marco general que se propone es el de una evaluación constructiva y participativa de las nanobiotecnologías para poder hablar seriamente de innovación responsable en este ámbito. La necesaria libertad de investigación y el interés económico y social que reviste el desarrollo de las innovaciones nanobiotecnológicas no debe hacer perder de vista los distintos niveles de responsabilidad individual y colectiva presentes. Las preocupaciones públicas en materia de salud y en relación a otros asuntos relevantes pueden incluso ser contempladas como oportunidades para ejercer una investigación e innovación responsable.¹² En suma, se trata de la aspiración de materializar una auténtica cosmopolítica de las nanobiotecnologías.

Bibliografía

107

ACH, J. S. y WEIDEMANN, C. (eds.) (2009): *Size Matters: Ethical, Legal and Social Aspects of Nanobiotechnology and NanoMedicine*, Münster, Lit.

AGAMBEN, G. (2003): *Homo sacer*, Valencia, Pre-Textos.

AGAMBEN, G. (2004): *Estado de excepción. Homo sacer II*, Valencia, Pre-Textos.

BAYA LAFFITE, N. y JOLY, P. B. (2008): "Nanotechnology and Society: Where do we stand in the ladder of citizen participation?", *Cipast Newsletter*, marzo.

BRUCE, D. M. (2006): "Nano-2-Life ethics: a scoping paper on ethical and social issues in nanobiotechnology", en J. S. Ach y L. Siep (eds.): *Nano-Bio-Ethics: Ethical Dimensions of Nanobiotechnology*, Münster, Lit, pp 63-84.

CALLON, M., LASCOUMES, P. y BARTHE, Y. (2001) : *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, París, Seuil.

CASADO, M. (coordinadora) (2010): *Bioética y nanotecnología*, Pamplona, Civitas Thomson Reuters.

12. Véase el artículo de Juan Sánchez García en este mismo volumen.

COMISIÓN EUROPEA (2010): *Communicating Nanotechnology. Why, to whom, saying what and how? An action-packed roadmap towards a brand new dialogue*, disponible en cordis.europa.eu/nanotechnology/src/publication_events.htm, consultado el 24 de febrero de 2012.

DE CÓZAR, J. M. (2011): *Nanotecnología, salud y bioética. Entre la esperanza y el riesgo*, Asturias, Sociedad Internacional de Bioética, en www.sibi.org/jgp/libros/Libro%20Premio%20JGPA%20SIBI%202010.pdf, consultado el 24 de febrero de 2012.

DE CÓZAR, J. M. (2004): "Nano y biotecnologías: un encuentro perturbador", Inguruak. *Revista vasca de sociología y ciencia política*, Monográfico: biotecnologización de lo social, 40, diciembre, pp. 159-186.

DE CÓZAR, J. M. (2009): "Aspectos sociales de las nanotecnologías", en A. Ibarra (ed.): *¿Qué es la nanotecnología? Avances, expectativas y riesgos*, Donostia, Cátedra Sánchez Mazas, colección poliedro, pp. 95-137.

DE CÓZAR, J. M. (2010): "Sobre la mejora humana por medio de las tecnologías convergentes", *Mundo Nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, vol. 3, n° 2, julio-diciembre, pp. 49-63, en www.mundonano.unam.mx/, consultado el 24 de febrero de 2012.

DEWEY, J. (1954) [1927]: *The Public and its Problems*, Athens, OH, Swallow Press/Ohio University Press.

ESPOSITO, R. (2006): *Bios: biopolítica y filosofía*, Buenos Aires, Amorrortu.

FEENBERG, A. (1999): *Questioning Technology*, Nueva York, Oxford University Press.

FERNÁNDEZ AGIS, D. (2011): *Bioética y biopolítica. Reflexiones sobre ética, ciencia y política en el mundo actual*, Saarbrücken, EAE.

GUSTON, D. y SAREWITZ, D. (2002): "Real-time technology assessment", *Technology in Society* 24, pp. 93-109.

KERA, D. (2007): "Biopolitics, microbiopolitics, neuropolitics, comsmopolitics and other posthumanist views of the global society", *Masaryk University Journal of Law and Technology*, 135.

JOTTERAND, F. (ed.) (2008): *Emerging Conceptual, Ethical and Policy Issues in Bionanotechnology*, Nueva York, Springer.

LATOUR, B. (2004): *Politics of Nature: How to bring the Sciences into Democracy*, Cambridge, Harvard University.

LATOUR, B. (2011): "Politics of nature: East and West perspectives", *Ethics & Global Politics*, 4(1), pp. 71-80.

LECHUGA, L. (2009): "Nanobioteología y salud: nuevos avances diagnósticos y terapéuticos", en A. Ibarra (ed.): *Qué es la Nanotecnología? avances, expectativas y riesgos*, Donostia, Cátedra Sánchez-Mazas, Colección Poliedro.

MACLURCAN, D. y RADYWYL, N. (eds.) (2011): *Nanotechnology and Global Sustainability*, Boca Raton, CRC Press.

MALSCH, I. y HVIDTFELT-NIELSEN, K. (2010): *Nanobioethics, ObservatoryNano 2nd Annual Report on Ethical and Societal Aspects of Nanotechnology*, en www.observatorynano.eu/project/document/2673/, consultado el 24 de febrero de 2012.

MENDIOLA, I. (ed.) (2009): *Rastros y rostros de la biopolítica*, Barcelona, Anthropos.

NANOBIO-RAISE (2007): *Ethical and Societal Issues in Nanobiotechnology, Nanobio-raise organization*, Delft, en nanobio-raise.org/groups/editors/menus/resources/50/view, consultado el 24 de febrero de 2012.

NANOBIO-RAISE (2008): *Public Perceptions and Communication about Nanobiotechnology*, Delft, en nanobio-raise.org/groups/editors/menus/resources/50/view, consultado el 24 de febrero de 2012.

NANOMED ROUNDTABLE (2010): *Nanomed Round Table Final Report. A Report on the Nanomedicine Environment*, Bruselas, en www.nanomedroundtable.org/, consultado el 24 de febrero de 2012.

109

OSTIGUY, C., ROBERGE, B., WOODS, C. y SOUCY, B. (2010): *IRSST (REPORT R-656) - Engineered Nanoparticles: Current Knowledge about Occupational Health and Safety Risks and Prevention Measures*, segunda edición, Montreal, IRSST - Communications Division.

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

RIP, Arie (2008): "Nanoscience and Nanotechnologies: Bridging Gaps Through Constructive Technology Assessment", en G. Hirsch Hadorn et al. (eds.): *Handbook of Transdisciplinary Research*, Nueva York, Springer, pp. 145-157.

SHOSEYOV, O. y LEVY, I. (eds.) (2008): *NanoBioTechnology: bioinspired devices and materials of the future*, Totowa, Nueva Jersey, Humana Press.

STENGERS, I. (2003): *Cosmopolitiques*, vol. 2, París, La Découverte.