

■ CIENCIA DE LOS IMPACTOS Y CIENCIA DE LA PRODUCCIÓN PARA UN DESARROLLO NANOTECNOLÓGICO SOSTENIBLE

Kenneth A. Gould¹

Resumen

La nanotecnología se promueve como solución a problemas tan diversos como el hambre en el mundo, la dependencia energética y la degradación del medio ambiente. La investigación nanotecnológica aspira a proporcionar nuevos materiales, procesos de producción y aplicaciones militares y comerciales que transformarán las relaciones sociales y las economías. Aunque algunos consideran que la nanotecnología avanza en la modernización ecológica, este análisis de las estructuras de financiación de la ciencia y de las prioridades y los objetivos institucionales suscita la preocupación de que la última década de inversión en nanotecnología ha servido para acelerar la cinta de la producción. La carrera transnacional por desarrollar la ca-

pacidad nanotecnológica brinda la oportunidad de examinar cómo se desarrolla y se libera el potencial científico, y con qué fines. Los patrones de inversión en investigación nanotecnológica demuestran que se hace hincapié en la ciencia de la producción y se presta relativamente poca atención a la ciencia de los impactos, destinada a comprender los riesgos que la nanotecnología puede plantear para el medio ambiente y la salud pública. El resultado de esta asignación sesgada de los fondos de investigación es que la investigación en nanotecnología, que podría aprovecharse para mejorar la sostenibilidad, ha disminuido en cambio la capacidad de los sistemas sociales para comprender y responder a los cambios en los ecosistemas.

Palabras clave

NANOTECNOLOGÍA, DESARROLLO SOSTENIBLE, CIENCIA DE LOS IMPACTOS, LA CINTA DE PRODUCCIÓN, PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN, TRAYECTORIA TECNOLÓGICA

■ IMPACT SCIENCE AND PRODUCTION SCIENCE FOR SUSTAINABLE NANOTECHNOLOGICAL DEVELOPMENT

Abstract

Nanotechnology is being promoted as a solution to problems as diverse as world hunger, energy dependence and environmental degradation. Nanotechnology research aims to provide new materials, production processes, and

military and commercial applications that will transform social relations and economies. While some see nanotechnology as advancing ecological modernisation, this analysis of science funding structures and institutional

¹ Department of Sociology, Brooklyn College, and Department of Earth and Environmental Sciences and Sociology, City University of New York Graduate Center. <https://orcid.org/0000-0002-6515-4110>, kgould@brooklyn.cuny.edu Texto traducido y adaptado por Mauricio Berger y Amalia Leguizamón.

priorities and goals raises concerns that the last decade of nanotech investment has served to accelerate the treadmill of production. The transnational race to develop nanotechnology capacity provides an opportunity to examine how scientific potential is developed and released, and to what ends. Patterns of investment in nanotech research demonstrate an emphasis on production science

and relatively little attention to impact science, aimed at understanding the risks nanotechnology may pose to the environment and public health. The result of this skewed allocation of research funds is that nanotechnology research, which could be harnessed to improve sustainability, has instead diminished the capacity of social systems to understand and respond to changes in ecosystems.

Keywords

NANOTECHNOLOGY, SUSTAINABLE DEVELOPMENT, IMPACT SCIENCE, TREADMILL OF PRODUCTION, PRECAUTIONARY PRINCIPLE, TECHNOLOGICAL TRAJECTORIES

Introducción

En las dos últimas décadas, los científicos sociales han centrado gran parte de su atención crítica en lo que suele denominarse la revolución genética. Los trabajos realizados en este ámbito (Busch, Burkhardt y Lacy 1992; Kloppenborg, 2005; Krinsky, 1982; Leguizamón, 2022; McKibben, 2004), que detallan las posibles repercusiones de la manipulación genética en nuestras sociedades, economías y medio ambiente, han arrojado luz sobre los orígenes y objetivos sociales de la ingeniería genética y la biotecnología, y han dado lugar a análisis que han servido de base a la política, la práctica y la resistencia mundiales. Ahora nos encontramos al borde de una nueva era de manipulación tecnológica, que ofrece la posibilidad de manipular los componentes básicos de la materia a un nivel casi atómico.

Sus defensores (principalmente Estados, empresas y tecnólogos) predicen que la nanotecnología –ingeniería a escala de una milmillonésima parte de un metro– presagiará cambios sociales de la magnitud de la revolución industrial. Este artículo examina las pautas de inversión institucional en nanotecnología, que favorecen desproporcionadamente a la ciencia de la producción en detrimento de la ciencia de los impactos ambientales y sanitarios, y analiza las consecuencias de este hecho para la sostenibilidad.

A continuación se explica brevemente la nanotecnología y se introduce la distinción analítica de Schnaiberg (1977, 1980) entre ciencia de la producción y ciencia de los impactos. Luego se analiza desde esa óptica los intereses institucionales y el arraigo de la investigación y el desarrollo nanotecnológicos, indicando que un sesgo estructural hacia la ciencia de la producción socava la utilidad potencial de la nanotecnología para alcanzar objetivos de sostenibilidad. El artículo concluye sugiriendo formas en las que se podría generar un círculo virtuoso de mayor investigación sobre el impacto medioambiental y concientización pública para reorientar la inversión en investigación nanotecnológica de forma que pudiera aumentar su potencial para apoyar el desarrollo sostenible.

¿Lo pequeño es hermoso?

La nanotecnología es la creación y ensamblaje de partículas de tamaño atómico y molecular (1 a 100 nanómetros;

1 nanómetro = 1 milmillonésima parte de un metro). Al estar definida por la escala, la nanotecnología abarca una gama excepcionalmente amplia de campos científicos, como la química orgánica, la ciencia de superficies, la física de semiconductores, la biología molecular y la microfabricación.

Los nanodispositivos y nanomateriales tienen aplicaciones en electrónica, biomateriales, producción y almacenamiento de energía, medicina y armamento. La nanotecnología, que aúna diversas disciplinas para diseñar en este ámbito microscópico, está aún en pañales; sin embargo, se está promoviendo como la solución utópica a problemas sociales y medioambientales tan diversos como el hambre en el mundo, la dependencia energética y la degradación ambiental (Drexler, 2013; Kurzweil, 2005).

La nanotecnología también promete proporcionar nuevos materiales, procesos de producción y aplicaciones militares y comerciales que seguramente transformarán nuestras vidas, relaciones sociales, economías y entornos en los próximos años. En 2012, la Oficina de Patentes de Estados Unidos aprobó 4000 patentes bajo su clase “977-nanotecnología”, sumadas a las 3439 de 2011, las 2770 de 2010 y las 1449 de 2009 (Hadlington, 2013). Estados Unidos representa más de la mitad de todas las patentes de nanotecnología del mundo (Jordan, Kaiser y Moore, 2012).

La mayoría de la gente está expuesta a productos nanotecnológicos que se encuentran en la ropa, los cosméticos, los protectores solares, los neumáticos de automóviles y el equipamiento deportivo.

Las nanopartículas de plata se utilizan como agentes antimicrobianos en la ropa deportiva. El dióxido de titanio se utiliza habitualmente en cosméticos y protectores solares, así como en una gama de productos alimentarios en rápida expansión, como muchos glaseados de color blanco. Los nanotubos de carbono se integran en el tejido de los neumáticos de los automóviles. Esos mismos neumáticos se trituran y se utilizan para crear superficies de juego de césped artificial en parques públicos, campos deportivos escolares e instalaciones deportivas profesionales. La nanotecnología se ha integrado en una serie de envases de alimentos, equipos deportivos, pinturas y barnices, tinta para tatuajes y suministros médicos.

Aunque la plata, el dióxido de titanio y el carbono no son tóxicos en su forma común, es el tamaño de las partículas de estos materiales lo que plantea riesgos para el medio ambiente y la salud. Poco se sabe sobre cómo el cuerpo humano y los ecosistemas absorben y responden a las partículas a nanoescala. Las escasas investigaciones toxicológicas y ecotoxicológicas realizadas han arrojado algunos resultados alarmantes (Simeonova, Opopol y Luster, 2007). Las nanopartículas de productos comerciales entran en el cuerpo humano por inhalación, ingestión y a través de la piel (Yah, Simate e Iyuke, 2012). Las nanopartículas pueden atravesar las membranas biológicas para acceder a las células, tejidos y órganos, algo que las partículas de mayor tamaño no pueden hacer (Ramakrishna y Pragna, s.f.). Se ha descubierto que las nanopartículas penetran en las células y atraviesan la barrera hematoencefálica en mamíferos, y pueden causar daños en el ADN y los cromosomas, así como cáncer (Bhabra et al., 2009; Sharma y Sharma, 2007).

Un estudio clave financiado por los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos dirigido por el Dr. Robert H. Schiestl en el Centro Oncológico Integral Jonsson de la Universidad de California, en Los Angeles descubrió que las nanopartículas utilizadas en artículos domésticos comunes causan daños genéticos en ratones (Irwin, 2009). Los efectos toxicológicos de estos materiales están directamente relacionados con el tamaño de las partículas, es decir, la nanoescala.

Respalda por miles de millones de dólares en presupuestos de investigación y desarrollo procedentes de inversiones gubernamentales y del sector privado, la nanotecnología promete un nuevo tipo de dominio tecnológico. El control de la materia en sus niveles más ínfimos es una extensión de la dominación humana sobre la naturaleza que se agudizará a medida que la nanotecnología se combine con las tecnologías existentes. De hecho, incluso la ingeniería genética será absorbida por la nanotecnología a medida que veamos la llegada de nanomáquinas capaces de un control minucioso y exacto dentro del propio ADN (McKibben, 2004).

No cabe duda de que la nanotecnología alterará la trayectoria tecnológica en las próximas décadas. Aunque algunos ven en la nanotecnología un gran potencial para poner en marcha la modernización ecológica (Mol y Spaargaren, 2000) que consideran clave para alcanzar

una senda de desarrollo sostenible, el siguiente análisis de las estructuras de financiación, las prioridades y los objetivos institucionales suscita la preocupación de que la última década de inversión en nanotecnología haya servido, de hecho, para acelerar la *cinta de la producción*, aumentando tanto la desorganización medioambiental como la desigualdad social (Foladori e Invernizzi, 2005; Martins, 2006). En el modelo de dinámica socioambiental de la *cinta de la producción*, la innovación tecnológica tiende a aumentar la desorganización medioambiental y la desigualdad social al sustituir la mano de obra por energía y productos químicos en los procesos de producción para mejorar la rentabilidad de las empresas y el rendimiento para los accionistas (Gould, Pellow y Schnaiberg, 2008; Schnaiberg, 1980; Schnaiberg y Gould, 2000). Si hemos de confiar en la ciencia y la tecnología para salvarnos de la ruina ecológica, nos incumbe examinar el arraigo institucional de la ciencia en la economía política actual y los resultados que podemos esperar razonablemente de la iniciativa científica mundial.

La carrera transnacional por desarrollar la capacidad nanotecnológica nos ofrece una excelente oportunidad para analizar cómo se desarrolla y se libera el potencial científico, y con qué fines. Aunque cierto desarrollo de la nanotecnología podría promover una mayor sostenibilidad (sobre todo en el ámbito energético) (Hess y Lamprou, 2012; Ju-young, 2012; Smith y Granqvist, 2010), la suma total de la inversión en nanociencia ¿nos acerca o aleja de una senda de desarrollo sostenible, cómo y por qué?

El reto del desarrollo sostenible es conseguir que los sistemas sociales y los ecosistemas establezcan una relación dinámica de apoyo mutuo que preserve la integridad ecológica, satisfaga las necesidades económicas humanas y sea coherente con la justicia social. Para ello, es necesario comprender cada uno de los sistemas de la forma más completa posible, a fin de poder entender la interacción de estos dos complejos sistemas. Y lo que es más importante, hay que conocer los mecanismos por los que los cambios en un sistema generan cambios en el otro, y vigilar cada sistema para detectar los cambios a tiempo, manteniendo así un circuito de retroalimentación sistemática entre el cambio social y el cambio medioambiental. La detección precoz y la reacción rápida y eficaz serán las claves para mantener la salud de ambos sistemas.

Nuestra capacidad para comprender y vigilar el cambio

medioambiental dependerá en gran medida de la cantidad y calidad de nuestros conocimientos científicos. Aunque la ciencia no resolverá los conflictos medioambientales sobre lo que constituyen respuestas eficaces de política social a los cambios sociogénicos en los ecosistemas, la escasez de conocimientos científicos hará que los cambios en los ecosistemas sean más difíciles de detectar y sus causas más difíciles de determinar, lo que ralentizará o desactivará los mecanismos de retroalimentación necesarios para que los sistemas sociales y los ecosistemas estén en armonía. Por lo tanto, abordar las barreras que impiden generar y utilizar suficientes conocimientos científicos sobre la dinámica de los sistemas sociales y los ecosistemas es esencial para crear una base sobre la que pueda establecerse una trayectoria de desarrollo sostenible.

Ciencia de impacto frente a ciencia de producción en nanotecnología

Sabemos muy poco sobre las repercusiones medioambientales porque el estudio científico de las repercusiones sociales en el medio ambiente no cuenta con la financiación suficiente por parte de los Estados, cuenta con la oposición del capital privado y cada vez encuentra más resistencia en las universidades. Los programas de investigación científica los establecen las instituciones que emplean a los científicos, financian la investigación y poseen la infraestructura de investigación. Nuestro acervo total de conocimientos científicos para fundamentar las decisiones de política medioambiental refleja los intereses de las instituciones que generan esos conocimientos científicos. Las agendas de estas instituciones que apoyan la ciencia son en gran medida incoherentes con el objetivo de alcanzar una trayectoria de desarrollo sostenible que equilibre la integridad medioambiental, los medios de vida económicos y la equidad social (Gould, 2006). El resultado es un desajuste cada vez mayor entre lo que necesitamos para evaluar nuestro progreso hacia la sostenibilidad, o nuestro retroceso respecto a ella, y nuestro acervo total de conocimientos científicos.

Al examinar el papel de la ciencia y la tecnología dentro del marco de la cinta de la producción para comprender las interacciones entre los sistemas sociales y los ecosistemas, Allan Schnaiberg (1977, 1980) nos ofrece una útil distinción entre ciencia de la producción y ciencia de los

impactos. La ciencia de la producción es la que conduce a un aumento de la producción, distribución y consumo de bienes y servicios que generan beneficios (incluidos los militares). Tanto si se lleva a cabo a nivel de ciencia básica como de ciencia aplicada, la ciencia de la producción pretende generar resultados. Puede tratarse de nuevos bienes de consumo, nuevos sistemas de armamento, nuevos procesos de producción o nuevos materiales. En cambio, la ciencia de los impactos es la que mejora nuestra comprensión de las repercusiones de los procesos de producción, los productos y las externalidades en el medio ambiente y la salud humana.

La ciencia de los impactos pretende observar los cambios en el entorno natural y la salud humana que se derivan de las adiciones y extracciones sociales de los ecosistemas (Schnaiberg, 1980). En una economía política capitalista industrial, los incentivos para la ciencia de la producción son grandes. En gran medida, las industrias iniciales basadas en la ciencia de la producción, eléctrica y química, siguen constituyendo las bases de nuestra civilización global.

La nanotecnología presenta la posibilidad de generar una oleada de nuevas industrias basadas en la ciencia de la producción, cuya contribución económica e impacto ecológico podrían igualar o superar los de las anteriores revoluciones industriales eléctrica y química. Así pues, la nanotecnología amenaza con ser un gran acelerador de la *cinta de la producción*, que sacrifica la integridad ecológica y la equidad social en pos del crecimiento económico (Gould, 2005). Sin embargo, dada nuestra experiencia con los impactos ambientales de la revolución química, y cierta conciencia de los errores cometidos al precipitar la revolución biotecnológica al mercado, muchos han expresado su esperanza de que podamos hacerlo mejor con la nanotecnología (Maclurcan y Radywyl, 2012). Es decir, en los últimos diez años se ha argumentado que la revolución nanotecnológica nos ofrece una oportunidad única para evaluar los riesgos ecológicos y para la salud humana de un paquete de avances tecnológicos antes de que se implanten a gran escala, y utilizar las nuevas tecnologías para mejorar la sostenibilidad.

A diferencia de los organismos modificados genéticamente, que se han extendido por todo el planeta antes de que sepamos cómo alteran la biosfera, la nanotecnología se encuentra todavía en una fase de Investigación y Desa-

rrrollo (I+D) lo suficientemente temprana como para que podamos evaluar los riesgos, intervenir en las trayectorias de I+D y maximizar los beneficios sociales y medioambientales minimizando los costes para la salud y el medio ambiente.

Lamentablemente, esa esperanza está empezando a desvanecerse, ya que la investigación en nanociencia ha tomado en gran medida el camino de la *carrera hacia el fondo* que predice la teoría de la cinta de producción. Hay pocos indicios de moderación en la comercialización de tecnologías de riesgo, de aplicación del principio de precaución o de una evaluación de riesgos y regulación eficaces basadas en la ciencia en el campo de la nanotecnología. La ciencia de los impactos se ha visto eclipsada por la ciencia de la *producción*. Como indica el Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos, no disponemos de suficiente ciencia de impacto para evaluar eficazmente los riesgos que plantean los avances nanotecnológicos (Sargent, 2011; Zhao, Nel y Riehemann, 2013). La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos emitió un comunicado de prensa el 25 de enero de 2012 titulado *Health and Environmental Effects of Nanomaterials Remain Uncertain; Cohesive Research Plan Needed to Help Avoid Potential Risks From Rapidly Evolving Technology* (Los efectos de los nanomateriales en la salud y el medio ambiente siguen siendo inciertos; se necesita un plan de investigación coherente para ayudar a evitar los riesgos potenciales de una tecnología en rápida evolución) (Academia Nacional de Ciencias, 2012). Fern Wickson (2012) lo dice sin rodeos: “La evaluación científica de riesgos está paralizada por la profunda falta de información sobre nanotoxicología” (p. 226). No se dispone de datos sobre la producción y distribución de nanotecnología porque sigue sin estar regulada. Los consumidores desconocen su exposición porque los nanomateriales no se incluyen en el etiquetado de los más de mil nanoprodutos que ya se comercializan. Otros vectores de exposición, como las superficies de juego de césped artificial compuestas de residuos de neumáticos triturados, pasan desapercibidos. ¿Por qué no hemos aprendido de las experiencias anteriores con la tecnología química, la tecnología nuclear o la biotecnología? ¿Por qué, como sociedad global, nos hemos precipitado a la revolución nanotecnológica sin tomar siquiera unas precauciones mínimamente razonables? ¿Por qué, después de más de una década de inversiones

masivas en I+D en nanotecnología, no existen directrices reguladoras eficaces para la producción y distribución de productos nanotecnológicos? Las respuestas hay que buscarlas en la economía política de la empresa científica, tal y como se ha organizado para servir a la *cinta de la producción*.

La ciencia como poder

La expertise científica es una forma de poder más al alcance del capital privado, menos al alcance del Estado y casi ausente para el público. Los científicos sirven a los intereses de las instituciones que los emplean. Los científicos son contratados para llevar a cabo líneas de investigación que se espera sirvan en última instancia a los objetivos institucionales (Brown, 1993). Es probable que se ponga fin a las líneas de investigación que no produzcan resultados que mejoren dichos objetivos, ya que esa inversión de tiempo, dinero e instalaciones se considerará improductiva. Es probable que se supriman los resultados científicos contrarios a los objetivos institucionales.

Es probable que se sancione negativamente a los científicos que traten de hacer pública una investigación que contrarie los objetivos institucionales (Beder, 1997; McCright y Dunlap, 2010; White, 2000). A medida que aumenta el coste de la investigación científica, también aumenta el control institucional sobre esas inversiones, así como los incentivos para producir resultados que mejoren los objetivos y los desincentivos para producir resultados que los obstruyan. El resultado es que lo que sabemos de la ciencia representa cada vez más sólo lo que las instituciones patrocinadoras de la ciencia quieren que sepamos. Lo que no sabemos de la ciencia (es decir, aquello de lo que no tenemos pruebas científicas) representa cada vez más lo que las instituciones no quieren que sepamos. Esto implica que la toma de decisiones basada en el conocimiento y fundamentada científicamente producirá cada vez más sesgos hacia las agendas de las instituciones poderosas (corporaciones y Estados). La supuesta neutralidad valorativa de la ciencia proporciona cobertura política a lo que es cada vez más un juego arreglado. Lo que hemos visto en el caso de la nanotecnología durante la última década es el resultado de estos sesgos institucionales en la organización social de la ciencia. El ritmo de crecimiento del conocimiento en la ciencia de

la *producción* ha superado con creces el ritmo de crecimiento del conocimiento en la ciencia de los impactos. Somos capaces, como sociedad global, de producir más materiales y productos nanotecnológicos, pero somos incapaces de evaluar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente de esos materiales y productos. Sabemos cómo reducir el crecimiento microbiano en nuestra ropa deportiva con nanoplata, pero tenemos poca idea de lo que esa nanoplata hará a nuestros cuerpos o a los ecosistemas en los que finalmente se depositan. Es bueno para las empresas y el Estado que sepamos lo primero, y sería malo para las empresas y el Estado que supiéramos lo segundo.

La ciencia de la producción acelera la cinta de la producción; la ciencia de los impactos amenaza con ralentizarla. El contrapeso a este sesgo institucional en la suma de conocimientos científicos en los que pueden basarse las decisiones relativas a los conflictos medioambientales y las evaluaciones del desarrollo sostenible son las fuentes independientes de investigación científica que aún pueden emanar de las universidades, financiadas por fundaciones, y que son producidas por organizaciones sin fines de lucro y la llamada ciencia ciudadana. La ciencia de impacto producida a través de las universidades, las organizaciones sin fines de lucro y la ciencia ciudadana (así como lo que queda de la ciencia de impacto patrocinada por el Estado) sirve como fuerza compensatoria para la ciencia de producción financiada por las empresas (y el Estado). Sin embargo, la capacidad de financiación está desigualmente distribuida entre estas instituciones. Las universidades autónomas, las fundaciones, las organizaciones sin fines de lucro y la ciencia ciudadana no pueden igualar la capitalización de la ciencia de producción corporativa. Como resultado, la ciencia de producción supera a la ciencia de impacto de una manera que hace imposible la evaluación completa del impacto, e impide en gran medida el aprovechamiento de la capacidad científica al servicio de la sostenibilidad (cuando ese objetivo entra en conflicto con los objetivos corporativos).

El mayor potencial para equiparar la financiación de la ciencia de producción corporativa con la financiación de la ciencia de impacto se encuentra en la institución del Estado que, debido a sus funciones de crecimiento y legitimación a menudo contradictorias, debe financiar cierto nivel de ciencia de impacto junto con la ciencia de

producción (Gould, 1994). Es probable que el equilibrio relativo entre la financiación estatal de la ciencia de impacto y la ciencia de producción refleje el poder político relativo de las fuerzas que exigen la subvención estatal de cada una de ellas.

En los Estados Unidos, donde el capital privado controla los procesos políticos y la dependencia de los responsables políticos del patrocinio corporativo de las campañas es extrema y creciente, ese equilibrio está abocado a inclinarse hacia la ciencia de producción. Se necesitaría una enorme presión política por parte del público votante para convencer a los responsables políticos de que en los presupuestos de investigación debe darse prioridad a una mayor financiación de la ciencia de impacto, que es potencialmente contraria a los intereses de sus patrocinadores corporativos. En los Estados Unidos, el público votante se muestra reacio a un mayor gasto público en general, sobre todo a aquellos gastos que pueden considerarse fácilmente contrarios al crecimiento económico. Es decir, la estructura de oportunidades políticas se moviliza contra el aumento de la financiación estatal de la ciencia de impacto para igualar la financiación empresarial de la ciencia de producción.

La combinación de una economía débil, la creciente dependencia de las universidades públicas de la financiación privada, los llamamientos políticos a una mayor austeridad y el escaso conocimiento de la nanotecnología por parte de la opinión pública hacen muy improbable un cambio en la inversión hacia la ciencia de *impacto* en los Estados Unidos.

Intereses institucionales *Nanoempresa*

La mayor parte de la I+D en nanotecnología se lleva a cabo en los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), con importantes inversiones adicionales en I+D en Rusia y China (Howard y Wetter, 2012). En la OCDE, cerca de dos tercios de toda la investigación y el desarrollo científicos los lleva a cabo la industria privada (OCDE, 2008). Incluso en el caso de la nanotecnología, donde la financiación estatal dirigió los primeros esfuerzos de investigación y desarrollo, en 2004 la inversión empresarial mundial en I+D en nanotecnología ya había superado la financiación esta-

tal (Científica, 2011). En los Estados Unidos, se calcula que la financiación privada de la I+D en nanotecnología duplica actualmente la pública (Sargent, 2013). Entre los principales inversores corporativos en nanotecnología se encuentran 3M, BASF, Bayer, Dupont, IBM, Mitsubishi y Rusnano (Maclurcan y Radywyl, 2012; Nanowerk, 2013). Para las empresas que financian la mayor parte de la investigación nanocientífica y emplean a la mayoría de los científicos investigadores, la inversión en la ciencia de la producción nanotecnológica ofrece la posibilidad de obtener grandes beneficios económicos. Para esas corporaciones, la ciencia de los impactos ofrece el potencial de generar obstáculos sociales a la nueva producción. Existe la preocupación de que la ciencia de impacto pueda arrojar resultados que lleven a “desalentar la inversión en nanotecnología debido a la posibilidad de que surjan normativas que puedan excluir productos del mercado, imponer elevados costes de cumplimiento normativo o dar lugar a demandas de responsabilidad civil por productos defectuosos y costes de limpieza” (Sargent, 2013, p.11). Por lo tanto, hay pocos incentivos para que las empresas financien su propia ciencia de impacto.

Cuando llevan a cabo su propia ciencia de los impactos, las empresas tienen grandes incentivos para concluir que no existen impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud pública. Es decir, la lógica económica de la empresa incentiva los errores de tipo II (no encontrar un impacto negativo en el medio ambiente o la salud) y sanciona negativamente los errores de tipo I (Marshall y Picou, 2008). Este sesgo se opone directamente al principio de precaución, que aboga por aumentar el riesgo de errores de tipo I (un falso resultado positivo de riesgo para el medio ambiente o la salud) con el fin de proteger más la salud humana y el medio ambiente (Beck, 1992; Brown, 2007). Por tanto, la ciencia fiable sobre el impacto de la nanotecnología recae principalmente en los Estados y las universidades y en los científicos que emplean.

Gobierno nano

Dentro de la OCDE, sólo alrededor del diez por ciento de la I+D científica es realizada directamente por los Estados (OCDE, 2008). Sin embargo, los Estados han sido inversores tempranos y agresivos en nanotecnología. Entre 2000 y 2011, los gobiernos invirtieron más de 67.500

millones de dólares en nanotecnología en todo el mundo, procediendo la mayor parte de la inversión de la Unión Europea, Estados Unidos, Rusia y China (Científica, 2011; Electronics.ca, 2011).

Con una inversión a tan gran escala por parte de los Estados, que deben apoyar cierta ciencia de impacto para cumplir sus funciones de legitimación política (Gould, 1994), cabría esperar que estos gastos públicos se destinaran a proteger la salud pública y el medio ambiente. Sin embargo, las funciones de crecimiento económico y seguridad militar de los Estados suelen tener más peso que funciones de legitimación como la protección de la salud y los ecosistemas.

Dado que la ciencia de la producción fomenta tanto el crecimiento económico como el poder militar, el apoyo estatal a la ciencia de impacto potencialmente compensatoria suele permanecer atenuado. En épocas de tensión económica o militar, el entusiasmo estatal por la ciencia de impacto, incluso limitado, tiende a disminuir (Johnson y Jackson, 1981). La recopilación de datos sobre las repercusiones negativas para el medio ambiente y la salud de los sistemas de armamento o la expansión económica no redundan en interés del Estado a menos que la opinión pública democrática exija que el Estado preste atención a esas repercusiones, lo que pone en entredicho la legitimidad del Estado. En el caso de la nanotecnología, la falta de interés público manifiesto (o incluso de conocimiento) se combina con la competencia internacional por dominar el desarrollo de la nanotecnología para suprimir el entusiasmo por financiar la ciencia de impacto. Cada país teme que el gasto en ciencia de impacto y la regulación de la producción perjudiquen su posición competitiva en la emergente economía global de la nanotecnología (Howard y Wetter, 2012). Del mismo modo, esta competencia reduce el interés por la regulación medioambiental y sanitaria de las nanotecnologías a nivel nacional, donde principalmente se desarrollan y aplican los aparatos reguladores (Bowman y Hodge, 2012).

Las asignaciones presupuestarias estatales para nanotecnología ilustran claramente que los Estados han priorizado el crecimiento económico y el poder militar sobre la salud humana y el medio ambiente en su prisa por ponerse a la cabeza de la revolución nanotecnológica. De los 1.700 millones de dólares que el Gobierno de Estados Unidos invirtió en su Iniciativa Nacional de Nanotec-

nología (INN) en 2012, alrededor del uno por ciento se destinó a la Agencia de Protección del Medio Ambiente, mientras que cerca del 25% se destinó al Departamento de Defensa (Sargent, 2013). La financiación total de aspectos ambientales, de salud y seguridad de las nanotecnologías en los presupuestos de la INN aumentó del 2,8% en 2006 al 5,1% en 2010, pero incluso este aumento deja una proporción de inversión estatal de 20:1 que favorece a la ciencia de producción sobre la ciencia de impacto. No es razonable esperar que se evalúen eficazmente los riesgos, se proteja la salud humana y se garantice la integridad del medio ambiente si la principal institución social creada para desempeñar esas funciones (el Estado) gasta el 95% de sus dólares de investigación en nanotecnología en ciencia de producción. Y Estados Unidos está a la cabeza de las naciones del mundo en el porcentaje de dólares de investigación en nanotecnología que invierte en investigación sobre medio ambiente, salud y seguridad (Sargent, 2011).

Los científicos de las administraciones públicas no suelen tener libertad para establecer sus propios programas de investigación. Al igual que en el caso de las empresas de capital privado, los científicos empleados por organismos estatales están obligados a seguir líneas de investigación establecidas institucionalmente. Las desviaciones de los objetivos institucionales suelen acarrear sanciones negativas (Beder, 1997; Krinsky, 2006; McCright y Dunlap, 2010). Los nanocientíficos empleados por el Estado y el sector privado están limitados por la financiación que se pone a su disposición y los objetivos establecidos por las instituciones que pagan sus salarios.

Universidad nano

En la OCDE, alrededor del 20% de la I+D científica se lleva a cabo en las universidades (OCDE, 2008). Históricamente, los científicos universitarios tenían algo más de autonomía para seguir líneas de investigación independientes. Aunque el apoyo institucional y la financiación externa eran a menudo requisitos previos para una investigación científica eficaz, esas líneas de investigación se juzgaban principalmente por su mérito científico profesional, aunque en el contexto de instituciones educativas diseñadas en gran medida para servir a los intereses del Estado y del capital privado (Noble, 1977). Sin embargo, con la

reducción del apoyo estatal a las universidades públicas en virtud de la austeridad neoliberal, y el aumento de la dependencia de las instituciones académicas tanto públicas como privadas del patrocinio empresarial, las agendas de investigación de las universidades han sido capturadas cada vez más por las empresas de capital privado (Marshall y Picou, 2008; White, 2000). La financiación de los Institutos Nacionales de Salud (NIH) de los Estados Unidos, una de las principales fuentes de financiación federal de la ciencia de impacto universitaria, se estancó después de 2003 y disminuyó en 2010 (Boadi, 2014). Los responsables universitarios están cada vez más preocupados por la erosión del apoyo federal a la investigación en ciencias básicas (Anderson, 2015). Uno de los motivos de su preocupación es que, desde 1980, la investigación universitaria financiada con fondos federales ha sido una fuente potencial de ingresos, cuando se centraba en la ciencia de producción y no en la ciencia de impacto.

La aprobación de la ley Bayh-Dole de 1980 otorgó a las universidades estadounidenses derechos de propiedad sobre la investigación patentable realizada por sus institutos si dicha investigación contaba con financiación federal (Gould, 2014). Esa ley incentivó aún más la priorización de la ciencia de producción sobre la ciencia de impacto para los administradores universitarios (Calhoun, 2006). Además, el patrocinio corporativo directo de las instalaciones de investigación desincentiva que las administraciones universitarias apoyen la investigación científica de impacto que pueda generar problemas a sus benefactores corporativos.

La denegación inicial de la titularidad al Dr. Ignacio Chapela en la Universidad de California-Berkeley debido ostensiblemente a su oposición a un acuerdo de secreto comercial entre la universidad y Novartis (tras su publicación de una investigación que amenazaba los intereses de la empresa biotecnológica) es sólo un ejemplo destacado del mensaje que las asociaciones entre empresas y universidades transmiten a los investigadores científicos. Más recientemente, el ataque orquestado por Syngenta contra el Dr. Tyrone Hayes a raíz de la publicación de su investigación sobre los efectos de la atrazina en la salud ambiental, también en la Universidad de California-Berkeley, plantea de forma similar el coste personal y profesional de realizar investigación de impacto en la universidad. La UC-Berkeley alberga el Instituto de Nanociencias y Nanoin-

geniería de Berkeley, que cuenta con financiación federal y empresarial.

El cambio del contexto institucional de la ciencia de base universitaria tiene un efecto escalofriante en el último gran bastión institucional de la ciencia de impacto independiente. El declive de las líneas universitarias de investigación en ciencia de impacto en relación con la ciencia de producción reduce nuestra capacidad para evaluar y alcanzar trayectorias de desarrollo sostenible.

Las universidades no han tardado en subirse al tren de la nanotecnología, y la mayoría de las grandes universidades de investigación estadounidenses (denominadas R1 por su alto nivel de investigación) se han apresurado a ampliar o construir instalaciones de ingeniería molecular. La Universidad de Chicago está construyendo sus nuevas instalaciones de ingeniería molecular frente al lugar donde se produjo la primera reacción nuclear en cadena controlada del mundo. La Universidad de Clemson, la Universidad Rice y la Universidad de Pensilvania (entre otras) anunciaron nuevas instalaciones de investigación en nanotecnología en 2013. Nano.gov, el sitio web de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de Estados Unidos, enumera 47 universidades estadounidenses que ofrecen actualmente programas de doctorado en nanotecnología. Según *Small Time Magazine* (2011), las 10 principales universidades estadounidenses que lideran la investigación en nanotecnología son (por orden de clasificación): State University of New York-Albany, Cornell University, University of Michigan, Rice University, University of Pennsylvania, University of Virginia, University of North Carolina, Ohio State University, Northwestern University y University of Minnesota. Según Howard y Wetter (2012), “una revisión de Lux Research (2008) descubrió que las treinta y una corporaciones globales entrevistadas habían reclutado a instituciones académicas para cumplir sus objetivos de nano I+D; mientras tanto, el 70 por ciento de las patentes de nanotecnología sobre las que tienen derechos las agencias militares federales estadounidenses cubren investigaciones realizadas en universidades con fondos concedidos por las agencias” (Howard y Wetter, p. 89).

La voluntad de las empresas de invertir en instalaciones de investigación universitarias se ha combinado con la voluntad de los Estados de invertir en I+D en nanotecnología para cambiar el enfoque de la ingeniería académica a nivel nacional. En 2012, la INN estadounidense financió a

la Fundación Nacional de las Ciencias de los Estados Unidos ligeramente por encima del nivel del Departamento de Defensa. Esta financiación podría ser un buen augurio para una mayor inversión en ciencia de impacto. Sin embargo, tanto el interés como la influencia del Estado y de las empresas que apoyan la I+D en nanotecnología incentivan la ciencia de producción comercialmente viable y militarmente valiosa por encima de la ciencia de impacto potencialmente problemática. Las universidades que habitualmente encuentran problemas sanitarios y medioambientales relacionados con la nanotecnología corren el riesgo de perder a las empresas benefactoras de las que dependen cada vez más para seguir siendo tecnológicamente competitivas.

ONG nano

Dado que los grandes actores científicos institucionales evitan cada vez más la ciencia de impacto, sólo nos queda depender de las organizaciones sin fines de lucro y no gubernamentales (ONG) y de la ciencia ciudadana para generar la ciencia de impacto necesaria para evaluar la nanotecnología y perseguir la sostenibilidad. Estas organizaciones dependen de la recaudación de fondos y/o de fundaciones centradas en la ciencia de impacto para apoyar sus programas de investigación. Esta financiación es necesariamente limitada, y la ciencia ciudadana y la ciencia de las ONG también adolecen de bajos niveles de legitimidad social (Brown y Mikkelsen, 1997; Kroll-Smith y Floyd, 1997). La escasa legitimidad social se traduce a menudo en una escasa repercusión social de las conclusiones negativas para la salud y el medio ambiente de los investigadores de las ONG, ya que es menos probable que los medios de comunicación corporativos informen sobre los resultados de dichas fuentes (McChesney, 1997). Las empresas de noticias responden con más facilidad a los comunicados de prensa de empresas y Estados sobre avances en la producción que a las advertencias de impacto científico de las ONG. Las ONG son percibidas como fuentes de información menos legítimas y que no pagan la publicidad que financia a las empresas periodísticas.

Está claro que las organizaciones sin fines de lucro tienen sus propias agendas a la hora de apoyar la ciencia de impacto, pero esos prejuicios son el contrapeso a las agendas corporativas. El creciente coste de la investi-

gación científica exige que los financiadores lleven la voz cantante. Grupos como Amigos de la Tierra y el Grupo ETC, ambos líderes mundiales en los esfuerzos por llamar la atención sobre los riesgos medioambientales y para la salud de la nanotecnología (Bowman y Hodge, 2012; Suppan, 2013), no disponen de los recursos necesarios para equiparar la ciencia de producción estatal y corporativa con suficiente ciencia de impacto. Se pueden seguir las líneas de investigación que resulten atractivas para las fundaciones y otras fuentes de financiación. Las que no han atraído el interés de las fundaciones permanecen en gran medida sin explorar. Debido en parte a la estructura de la información periodística mencionada anteriormente, las amenazas para el medio ambiente y la salud pública que plantean las nanotecnologías no han recibido suficiente atención mediática como para suscitar el interés de las fundaciones. Es probable que los científicos profesionales desvíen su investigación hacia lo que es financiable, de modo que incluso lo que parecen ser decisiones independientes de los científicos sobre las líneas de investigación son, en realidad, reflejos de los desiguales contextos de financiación en los que están insertos profesionalmente (Lewis, 2011). Mientras la nanotecnología permanezca fuera del radar del público en general, la ciencia de impacto seguirá siendo poco atractiva para la mayor parte de la comunidad científica independiente. No es realista esperar que Kickstarter.com financie una base de conocimientos suficientes sobre la ciencia de los impactos.

Conclusiones

Conviene tener en cuenta, pues, que incluso un cambio de enfoque de la ciencia de la producción a la ciencia de los impactos solo proporcionaría a la sociedad la posibilidad de actuar sobre la base de una mejor información acerca de los costes y beneficios sociales y medioambientales de la nanotecnología. No deberíamos asumir que la disponibilidad de esa información conduciría necesariamente a decisiones sociales más favorables al medio ambiente (García 2014).

Una mayor dotación de recursos a la ciencia de los impactos y, tal vez, una reducción y/o reorientación de la ciencia de la producción harían sin duda más posible el establecimiento de una trayectoria de investigación en nanotecnología al servicio de los objetivos del desarrollo

sostenible. Pero las fuerzas que nos conducen cada vez más profundamente hacia la insostenibilidad son políticas, económicas, institucionales, culturales y profundamente creadas, y nuestro actual camino insostenible no se elige principalmente por falta de conocimiento de sus consecuencias ecológicas.

La ciencia puede ser un estímulo para la participación pública y la acción social. La ciencia de impacto relacionada con problemas graves de salud pública (cáncer, asma, etc.), amenazas graves e inminentes a ecosistemas o elementos de ecosistemas apreciados (drenaje ácido de minas, extinción de megafauna) o riesgos de catástrofes (centrales nucleares) ha sido vital para el surgimiento de movimientos sociales locales, nacionales e incluso internacionales (Brown, 2007).

La obra de Rachel Carson *Primavera silenciosa* (Carson, 1962) inspiró la preocupación pública y el compromiso democrático en cuestiones relacionadas con el uso de biocidas. Sin embargo, la eficacia de los movimientos y la apertura de los procesos democráticos varían en gran medida independientemente de la calidad o cantidad de los datos científicos. Lo más probable es que sea la amenaza del surgimiento de movimientos y la subsiguiente regulación estatal lo que inspire al capital privado a invertir en la anulación y el menosprecio de la ciencia de impacto (McCright y Dunlap, 2010). Sin embargo, la preocupación pública no siempre conduce a la acción pública, y la acción pública no siempre conduce a la respuesta política. En ese camino, el mayor papel de la ciencia de impacto es generar un sentido “emisor” para un problema ambiental se convierta en problema público y como tal, emerja en la agenda y debate públicos.

Nuestra mayor esperanza de conseguir una trayectoria de investigación y desarrollo en nanotecnología al servicio de la sostenibilidad social y medioambiental es crear una espiral ascendente de ciencia de impacto y sensibilización pública que obligue a los Estados a reorientar las inversiones hacia la ciencia de impacto y a generar restricciones normativas eficaces sobre la ciencia de producción. Los Estados harán tan poco como lo permita la política en materia de ciencia de los impactos (Gould, 1994). No les interesa frenar la cinta de la producción. Hay que concientizar al público sobre las preguntas y preocupaciones que han surgido de la poca ciencia de impacto que ya tenemos sobre nanotecnología. La sensibilización del

público se ve dificultada por la amplia gama de campos y aplicaciones a los que se ha aplicado la nanotecnología, que sirve para dispersar la atención y la preocupación del público en lugar de centrarlas.

La incertidumbre científica sobre la seguridad de los nanomateriales puede aprovecharse para exigir más ciencia de impacto, del mismo modo que se ha utilizado la incertidumbre socialmente construida sobre el cambio climático para exigir más estudios climáticos. En este caso, la táctica dilatoria podría desplegarse para retrasar la producción de capital privado en lugar de la acción reguladora estatal. Puede que haya suficientes pruebas preliminares de posibles daños ecológicos y para la salud pública derivados de la exposición a las nanopartículas de plata en la ropa, al dióxido de titanio en cosméticos y alimentos, y a los nanotubos de carbono en una serie de productos, como para alarmar a segmentos del público en general (Colman et al., 2013; Hess y Lamprou, 2012; Nowak, 2012; Sargent, 2011). Los científicos de impacto y quienes tienen acceso a la ciencia de impacto tendrán que hacer un esfuerzo mucho mayor para dar a conocer ampliamente sus preocupaciones a través de los medios de comunicación con el fin de aumentar la demanda pública de protección. Los grupos de consumidores de clase media pueden resultar un público fundamental para esa información, como lo han sido para el creciente movimiento alimentario/antitransgénicos. Centrarse en la nanotecnología en los alimentos y sus envases podría motivar a las redes de activistas del movimiento alimentario a adoptar la nanotecnología como tema de debate.

La demanda de protección por parte de los consumidores puede generar un mecanismo de retroalimentación positiva a medida que los responsables políticos, en respuesta a un público preocupado, aumenten la financiación de la ciencia de los impactos. En Estados Unidos, el *Woodrow Wilson Center's Project for Emerging Nanotechnologies* ha pedido que se aumente al diez por ciento la financiación de la INN dedicada a la investigación sobre medio ambiente, salud y seguridad. Incluso el *acomodación Environmental Defense Fund* ha pedido 100 millones de dólares o más en financiación federal estadounidense para los aspectos Ambientales, de Salud y Seguridad (EHS por sus siglas en inglés) de la nanotecnología (Sargent, 2011). Estas modestas demandas de una mayor investigación científica sobre el impacto de la nanotecnología

tienen pocas esperanzas de ser satisfechas a menos que exista una preocupación pública demostrable.

Hay indicios que sugieren que el espectro de la preocupación pública incluso empujaría al sector privado a apoyar más ciencia de impacto financiada con fondos públicos para evitar hacer inversiones en I+D tecnológica cuyos beneficios comerciales se vean frustrados en última instancia por el rechazo público o la intervención reguladora (Sargent, 2011).

Una espiral ascendente de preocupación pública y una mayor financiación de la ciencia de impacto para la nanotecnología es un objetivo ciertamente modesto. Dado que la financiación del sector público representa menos de la mitad de toda la financiación de I+D en nanotecnología, y menos del cinco por ciento de la financiación pública mundial dedicada a la investigación sobre medio ambiente, salud y seguridad, la inversión mundial actual en ciencia de los impactos de la nanotecnología puede muy bien ser del uno por ciento o menos del esfuerzo científico total dedicado a la revolución nanotecnológica. Un éxito tremendo en todo el mundo podría llevarnos hasta un cinco por ciento de inversión en investigación nanotecnológica sobre medio ambiente, salud y seguridad, lo que seguiría dejando una proporción de 20:1 entre la ciencia de la producción y la ciencia de los impactos.

Puede que esto no sea suficiente para evitar los errores de las revoluciones química y biotecnológica anteriores. A ese ritmo, el desarrollo de nanomateriales superará con creces nuestra comprensión de las implicaciones medioambientales y sanitarias de esos materiales, lo que nos dejará cada vez menos capacitados para generar el tipo de mecanismo de retroalimentación ecosistema-sistema social que requiere el desarrollo sostenible.

En la actualidad, existen pocas limitaciones normativas eficaces para la I+D y el despliegue de las nanotecnologías. Los marcos normativos no se han actualizado ni modificado para tener en cuenta los riesgos únicos que plantean las nanopartículas, y organizaciones tan dispares como *Lloyd's of London*, *ETC Group* y el *Foro Económico Mundial* han indicado que los riesgos que se corren con la nanotecnología son enormes (Howard y Wetter, 2012). Tanto los gobiernos de los Estados Unidos como del Reino Unido han admitido que los acuerdos voluntarios con el sector privado han fracasado (Howard y Wetter, 2012).

Por lo tanto, es importante que maximicemos los beneficios para la salud pública y el medio ambiente de una modesta inversión en la ciencia de los impactos en términos de su uso para generar una regulación eficaz de la I+D en la ciencia de la producción. Es decir, cuando se detecte un daño, o un alto riesgo de daño, a partir de nuestra ciencia de los impactos, ese conocimiento debe traducirse en restricciones a la I+D en ciencia de la producción en los sectores público y privado. Las pruebas de la necesidad de precaución deben utilizarse para imponer principios de precaución a la inversión científica pública y privada. Una vez más, sólo un bucle de retroalimentación eficaz entre los datos científicos, la concientización pública y la exigencia de protección a los responsables políticos frenará y redirigirá la cinta de la producción de la nanotecnología. La estrategia consiste en convertir lo poco que se financia en ciencia de impacto en reducciones de la inversión en ciencia de producción y, por tanto, generar un mayor cambio en la proporción entre ciencia de los impactos y ciencia de la producción. Cuanto más se pueda aprovechar la ciencia de impacto para frenar la ciencia de producción, más nos acercaremos a una trayectoria científica que pueda servir a los intereses del desarrollo sostenible.

Referencias

- Anderson, N. (2015). Universities fear the federal research funding pipeline is withering. Washington Post, February 25. <http://www.washingtonpost.com/news/grade-point/wp/2015/02/25/universities-fear-the-federal-research-funding-pipeline-is-withering/>
- Beck, U. (1992). *The Risk Society*. Newbury Park, CA: Sage.
- Beder, S. (1997). *Global Spin: The Corporate Assault on Environmentalism*. White River Junction, VT: Chelsea Green.
- Bhabra, G., Sood, A., Fisher, B., Cartwright, L., Saunders, M., Evans, W. H., Suprenant, A. et al. (2009). Nanoparticles Can Cause DNA Damage Across A Cellular Barrier. *Nature Nanotechnology* 4: 876–883. doi:10.1038/nnano.2009.313.
- Boadi, K. (2014). Erosion of funding for the National Institutes of Health Threatens U.S. Leadership in Biomedical Research. Center for American Progress, March 25. <https://www.americanprogress.org/issues/economy/report/2014/03/25/86369/erosion-of-funding-for-the-national-institutes-of-health-threatens-u-s-leadership-in-biomedical-research/>.
- Bowman, D. M., y Hodge, G. A. (2012). *Nanotechnology and Global Regulation*. En *Nanotechnology and Global Sustainability*, editado por D. Maclurcan and N. Radywyl, 261–280. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Brown, P. (2007). *Toxic Exposures: Contested Illnesses and the Environmental Health Movement*. New York: Columbia University Press.
- Brown, P., y Mikkelsen, E. J. (1997). *No Safe Place: Toxic Waste, Leukemia and Community Action*. Berkeley: University of California Press.
- Brown, R. H. (1993). Modern Science: Institutionalization of Knowledge and Rationalization of Power. *The Sociological Quarterly* 34: 153–168. doi:10.1111/tsq.1993.34.issue-1.
- Busch, L., Burkhardt, J. y Lacy, W. B. (1992). *Plants, Power, and Profit: Social, Economic and Ethical Consequences of the New Biotechnologies*. Hoboken, NJ: Blackwell.
- Calhoun, C. (2006). Is the University in Crisis? *Society* 43(4): 8–18.
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. 40th Anniversary Special Edition, 2002, Boston, MA: Mariner Books.
- Cientifica. (2009). *Nanotechnology Takes a Deep Breath. And Prepares to Save the World!* Global Nanotechnology Funding in 2009. Accessed July 28, 11. <http://cientifica.eu/blog/white-papers/nanotechnologies-in-2009/>.
- Cientifica. (2011). *Global Nanotechnology Funding 2011*. <http://www.cientifica.com/research/white-papers/global-nanotechnology-funding-2011/>
- Colman, B. P., Arnaout, W. B., Sarah Anciaux, C. K., Gunsch, M. F., Hochella, B. K., Lowry, G. V., McGill, B. M. et al. (2013). Low Concentrations of Silver Nanoparticles in Biosolids Cause Adverse Ecosystem Responses under Realistic Field Scenario. *PLoS ONE* 8 (2): e57189. doi:10.1371/journal.pone.0057189.
- Drexler, K. E. (2013). *Radical Abundance: How a Revolution in Nanotechnology Will Change Civilization*. New York: Public Affairs.
- Electronics.ca Research Network. (2011). *Global Funding of Nanotechnologies 2011*. <http://www.electronics.ca/presscenter/articles/1542/1/Annual-Global-Nanotechnology-Research-Funding-Running-at-10-Billion-Per-Year/Page1.html>.
- Foladori, G., y Invernizzi, N. (2005). *Nanotechnology in Its Socio-Economic Context*. *Science Studies* 18 (2): 67–73.
- García, E. (2014). Expert Knowledge, Public Participation and Reflexivity in Social-Ecological Conflicts: Do These Three Really Always Go Together? En *Experts and Campaigners: Scientific Information and Collective Action in Socio- Ecological Conflicts*,

editado por M. Martínez-Iglesias, 49–70. Valencia: Publicacions de la Universitat de Valencia.

Gould, K. A. (1994). Legitimacy and Growth in the Balance: The Role of the State in Environmental Remediation. *Industrial and Environmental Crisis Quarterly* 8: 237–256.

Gould, K. A., Pellow, D. N. y Schnaiberg, A. (2008). *The Treadmill of Production: Injustice and Unsustainability in a Global Economy*. Boulder, CO: Paradigm Press.

Gould, K. A. (2005). Os Deuses de Coisas Pequenas: O Poder Institucional da Nanotecnologia e a Dinâmica. En *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente*, editado por P. R. Martins, 244–255. São Paulo: Associação Editorial Humanitas.

Gould, K. A. (2006). Promoting Sustainability. En *Public Sociologies Reader*, editado por J. Blau and K. E. Iyall Smith, 213–230. New York: Rowman & Littlefield.

Gould, K. A. (2014). Unsustainable Science in the Treadmill of Production: The Declining Salience of Impact Science in Environmental Conflicts in the U.S. En *Experts and Campaigners: Scientific Information and Collective Action in Socio-Ecological Conflicts*, editado por M. Martínez-Iglesias, 35–48. Valencia: Publicacions de la Universitat de Valencia.

Hadlington, S. (2013). Nanotech Patent Jungle Set To Become Denser in 2013. *Chemistry World* January 17. <http://www.rsc.org/chemistryworld/2013/01/nanotechnology-patent-thicket-jungle-graphene-nanotubes>.

Hess, D. J., y Lamprou, A. (2012). Nanotechnology and the Environment. En *Nanotechnology and Global Sustainability*, editado por D. Maclurcan and N. Radywyl, 21–44. Boca Raton, FL: CRC Press.

Howard, S., y Wetter, K. J. (2012). Nanotechnology and Geopolitics: There's Plenty of Room at the Top." In *Nanotechnology and Global Sustainability*, editado por D. Maclurcan and N. Radywyl, 69–116. Boca Raton, FL: CRC Press.

Irwin, K. (2009). Nanoparticles Used in Common Household Items Cause Genetic Damage in Mice. *UCLA Newsroom*. <http://newsroom.ucla.edu/portal/ucla/nanoparticles-used-in-common-household-112679.aspx>.

Johnson, C. W., y Jackson, C. O. (1981). *City Behind a Fence*. Oak Ridge, Tennessee 1942–1946. Knoxville: University of Tennessee Press.

Jordan, C. C., Kaiser, I. N. y Moore, V. C. (2012). Nanotechnology Patent Survey: Who Will Be The Leaders in the Fifth Technology Revolution? *Nanotechnology Law and Business* Fall 9 (2): 122–132.

Juyoung, K. (2012). *Advances in Nanotechnology and*

the Environment. Singapore: Pan Stanford Publishing.

Kloppenborg Jr., J. K. (2005). *First the Seed: The Political Economy of Plant Biotechnology*. Madison, WI: University of Wisconsin Press.

Krimsky, S. (1982). *Genetic Alchemy: The Social History of the Recombinant DNA Controversy*. Cambridge, MA: MIT Press.

Krimsky, S. (2006). Autonomy, Disinterest, and Entrepreneurial Science. *Society* 43 (4): 22–29. doi:10.1007/BF02687531.

Kroll-Smith, S., y Floyd, H. H. (1997). *Bodies in Protest: Environmental Illness and the Struggle Over Medical Knowledge*. New York: New York University Press.

Kurzweil, R. (2005). *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Penguin Books.

Leguizamón, A. (2022). Las semillas del poder: Injusticia ambiental en la Argentina sojera. Buenos Aires, Argentina: UNSAM Edita.

Lewis, T. L. (2011). The Effects of Transnational Environmentalism on Domestic Environmental Coalitions: Thick Conservation Networks and Thin Pollution Networks in Ecuador. *Journal of Natural Resources Policy Research* 3 (3): 315–327. doi:10.1080/19390459.2011.591749.

Lux Research. (2008). *Nanotechnology Corporate Strategies*. Lux Research Nanomaterials Intelligence. Accessed April 15, 2011. http://www.printedelectronicsnow.com/whitepapers/download/10/Lux_Research_Nanomaterials_Intelligence_-_Nanotechnology_Corporate_Strategies.pdf.

Maclurcan, D., y Radywyl, N. (2012). *Nanotechnology and Limits to Growth*. En *Nanotechnology and Global Sustainability*, editado por D. Maclurcan and N. Radywyl, 3–20. Boca Raton, FL: CRC Press.

Marshall, B. K., y Picou, J. S. (2008). Postnormal Science, Precautionary Principle, and Worst Cases: The Challenge of Twenty-First Century Catastrophes. *Sociological Inquiry* 78 (2): 230–247. doi:10.1111/soin.2008.78.issue-2.

Martins, P. R. (2006). Nanotecnologia e Meio Ambiente Para uma Sociedade Sustentável. En *Nanotecnologia Sociedade e Meio Ambiente*, editado por P. R. Martins, 114–132. São Paulo: Xamã.

McChesney, R. W. (1997). *Corporate Media and the Threat to Democracy*. New York: Seven Stories Press.

McCright, A. M., y Dunlap, R. E. (2010). Anti-Reflexivity: The American Conservative Movement's Success in Undermining Climate Science and Policy. *Theory, Culture & Society* 27: 100–133. doi:10.1177/0263276409356001.

- McKibben, B. (2004). *Enough: Staying Human in an Engineered Age*. New York: St. Martin's Griffin.
- Mol, A. P. J., and G. Spaargaren. 2000. "Ecological Modernisation Theory in Debate: A Review." *Environmental Politics* 9 (1): 17-49.
- Nanowerk. (2013). Ten Things You Should Know About Nanotechnology. Accessed September 30, 13. http://nanowerk.com/nanotechnology/ten_things_you_should_know.php.
- National Academy of Sciences. (2012). Health and Environmental Effects of Nanomaterials Remain Uncertain; Cohesive Research Plan Needed to Help Avoid Potential Risks From Rapidly Evolving Technology. <http://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=13347>.
- National Nanotechnology Initiative. (2013). <http://www.nano.gov/about-nni/what/funding>.
- Noble, D. F. (1977). *America by Design: Science, Technology, and the Rise of Corporate Capitalism*. New York: Alfred A. Knopf.
- Nowak, B. (2012). The Occurrence, Behavior, and Effects of Engineered Nanomaterials in the Environment. En *Advances in Nanotechnology and the Environment*, editado por K. Juyoung, 183-218. Singapore: Pan Stanford Publishing.
- OECD. (2008). *Main Science and Technology Indicators*. Vol. 2008/1 Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/msti-v2008-1-en-fr
- Sargent Jr., J. F. (2011). *Nanotechnology and Environmental, Health, and Safety: Issues for Consideration*. Congressional Research Service, RL34614. Washington, DC.
- Sargent Jr., J. F. (2013). *Nanotechnology: A Policy Primer*. Congressional Research Service, RL34511. Washington, DC.
- Schnaiberg, A. (1977). Obstacles to Environmental Research by Scientists and Technologists: A Social Structural Analysis. *Social Problems* 24 (5): 500-520. doi:10.2307/800121.
- Schnaiberg, A. (1980). *The Environment: From Surplus to Scarcity*. New York: Oxford University Press.
- Schnaiberg, A. y Gould, K. A. (2000). *Environment and Society: The Enduring Conflict*. Caldwell, NJ: Blackburn Press.
- Sharma, H. S. y Sharma, A. (2007). Nanoparticles Aggravate Heat Stress Induced Cognitive Deficits, Blood-Brain Barrier Disruption, Edema Formation and Brain Pathology. *Progress in Brain Research* 162: 245-273.
- Simeonova, P. P., Opopol, N. and Luster, M. I. (2007). *Nanotechnology-Toxicological Issues and Environmental Safety*. Netherlands: Springer.
- Small Time Magazine. (2011). Annual Ranking of Universities for Nanotechnology Research and Innovation. *Small Time Magazine*.
- Smith, G. B., y Granqvist, C. G. (2010). *Green Nanotechnology: Energy for Tomorrow's World*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Suppan, S. (2013). *Nanomaterials in Soil. Our Future Food Chain*. Minneapolis: The Institute for Agriculture and Trade Policy.
- White, G. D. ed. (2000). *Campus Inc.: Corporate Power in the Ivory Tower*. Albany, NY: Prometheus Books.
- Wickson, F. (2012). *Nanotechnology and Risk*. En *Nanotechnology and Global Sustainability*, editado por D. Maclurcan and N. Radywyl, 217-240. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Yah, C. S., Simate, G. S. y Iyuke, S. E. (2012). Nanoparticles Toxicity and Their Routes of Exposure. *Pakistani Journal of Pharmaceutical Sciences* 25 (2): 477-491.
- Zhao, Y., Nel, A. y Riehemann, K. (2013). Filling Knowledge Gaps that Distinguish the Safety Profiles of Nano versus Bulk Materials. *Small* 9 (9-10): 1426-1427. doi:10.1002/sml.201300500. *Environmental Sociology* 9