

# La tecnociencia y sus implicaciones: el caso de las nanotecnologías y el medio ambiente

*Traducido por Manuel Barroso Sevillano*

*Este artículo transita desde lo particular a lo general. Comienza presentando de manera sintética las nanotecnologías para luego destacar los elementos que se deben observar en las relaciones entre estas y el medio ambiente. Más adelante se presentan las interacciones entre las nanopartículas, los riesgos y el medio ambiente, indicando cuáles son las cuestiones que se deben afrontar a través de la producción de conocimiento en las "ciencias de los impactos". En el siguiente apartado se muestra la dinámica socioambiental y las nanopartículas presentes en el desarrollo de las nanotecnologías. En este proceso están presentes actores públicos y privados, responsables de las promesas, problemas y riesgos nanotecnológicos construidos. Para terminar, se exponen unas breves conclusiones con el fin de fomentar el debate y la reflexión.*

Paulo Martins es coordinador de la Red Brasileña de Investigación en Nanotecnología, Sociedad y Medioambiente (RENANOSOMA)

Las nanotecnologías pueden ser presentadas de dos formas. En la primera la tecnología se caracteriza por dos elementos principales: el primero se refiere al prefijo "nano", que es un indicador de medida. Un *nano* significa la billonésima parte de un metro, es decir,  $10^{-9}$  metros. Por tanto, la nanotecnología se aplicaría solamente a escalas y no a objetos. Un segundo aspecto hace referencia a una serie de técnicas utilizadas para manipular la materia a escala de átomos y moléculas, lo que implica el uso de microscopios especiales (STM y SPM). Para que los lectores puedan ejercitar su imaginación: un simple cabello humano tiene la dimensión de 80.000 nm (nanómetros) de espesor, mientras que 1 nm contiene 10 átomos de hidrógeno colocados de lado a lado. La molécula de ADN tiene el tamaño de aproximadamente 2,5 nm de ancho, mientras que un glóbulo rojo tiene 5.000 nm de diámetro.

La segunda forma en la que podemos presentar la nanotecnología está relacionada con el estudio de los principios fundamentales de moléculas y estructuras de una dimensión de entre 1 a 100 nm (nanómetros). La nanotecnología sería, pues, la aplicación de estas moléculas y nanoestructuras en dispositivos nanométricos.

Las partículas nano, aun siendo parte del mismo elemento químico, se comportan de forma distinta (en relación a las partículas mayores) en cuanto a color, propiedades termodinámicas, conductividad eléctrica, etc. Por tanto, el tamaño de la partícula es de suma importancia ya que cambia la naturaleza de las interacciones de las fuerzas entre las moléculas del material y, de esta forma, se modifican los impactos que estos procesos o productos nanotecnológicos tienen respecto al medio ambiente, la salud humana y la sociedad en su conjunto.

Son estos distintos comportamientos, arriba señalados, los que interesan directamente al proceso de producción industrial actual, pues proporcionan enormes avances en la elaboración de los productos ya conocidos y apuntan también hacia la introducción de otros nuevos.

---

**El tamaño de la partícula cambia la naturaleza de las interacciones de las fuerzas entre las moléculas del material y, por lo tanto, los impactos que tienen respecto al medio ambiente, la salud humana y la sociedad en su conjunto**

---

Pero ¿cómo se crean las nanoestructuras con objetivos industriales? Existen dos técnicas para crear nanoestructuras con diferentes niveles de calidad, velocidad y costes: las conocidas como “*botton-up*” (de abajo para arriba) y las denominadas “*top-down*” (de arriba para abajo). Es preciso destacar que en los últimos años presenciamos una tendencia creciente de convergencia entre ambas técnicas.

En lo que respecta a la técnica “*botton-up*”, facilita la construcción de estructuras átomo por átomo o molécula por molécula a través de las siguientes tres alternativas:

- a) Síntesis química (*chemical synthesis*). En general se emplea para producir materias primas, en las que son utilizadas moléculas o partículas nano;
- b) Autorganización (*self assembly*). En esta técnica los átomos o moléculas se organizan de forma autónoma por medio de interacciones físicas o químicas para construir nanoestructuras organizadas. A través de esta técnica se obtienen diversos tipos de sales en forma de cristales.

c) Organización determinada (*positional assembly*). Los átomos y moléculas son manipulados deliberadamente y colocados en un determinado orden, es decir, uno por uno.

Por su parte, la técnica “*top-down*” tiene como objetivo reproducir algo en una escala menor que el original y con una mayor capacidad de procesamiento de la información, como por ejemplo un *chip*. Esto se realiza a través de dos vías: ingeniería de precisión o litografía. La industria de semiconductores ha procedido así en los últimos 30 años.

Richard Smalley, premio Nobel de Química en 1996, en relación con el contenido expuesto afirmaba: «El impacto de la nanotecnología en la salud, en la riqueza y en las condiciones de vida de la población será por lo menos el equivalente al de las influencias combinadas de la microelectrónica, las imágenes para realizar diagnósticos médicos, la ingeniería informática y los polímeros sintéticos, acontecidos en este siglo».<sup>1</sup>

La contribución de este premio Nobel (ya fallecido) ha sido inmensa. Como resultado de su intensa dedicación a esta área, destaca su participación en el descubrimiento de los fulerenos. Estos carbonos 60 (C60) son la tercera forma de carbono más estable después del diamante y el grafito. Los fulerenos fueron descubiertos en 1985 por los equipos de investigación científica de Harold Kroto (Universidad de Sussex) y James Heath, Sean O'Brien, Robert Curl y Richard Smalley (Universidad de Rice, EE UU). Kroto, Curl y Smalley ganaron el premio Nobel de Química de 1996 por su aportación en el descubrimiento de este tipo de compuesto.

Otro descubrimiento de gran importancia relacionado con el ámbito de la nanotecnología fue el nanotubo de carbono, que posee características tan destacables como, por ejemplo, ser cien veces más resistente que el acero y seis veces más ligero que el aluminio. Todo ello, sumado a otras de sus características específicas (conductividad eléctrica), hace que este producto tenga una infinidad de usos en aplicaciones industriales.

## Nanopartículas y medio ambiente<sup>2</sup>

Uno de los aspectos que justifican en mayor medida el desarrollo de las nanotecnologías a través de los discursos generados es, precisamente, el relacionado con el medio ambiente. Para entender las relaciones entre nanopartículas y medio ambiente tenemos que observar que:

<sup>1</sup> Palabras pronunciadas por Richard Smalley en el Senado norteamericano en junio de 1999. Disponible en: <https://vvvforesight.org/updates/brefind5.html> [acceso el 15 de marzo de 2016].

<sup>2</sup> La síntesis presentada en el primer y segundo apartado: *nanopartículas y medio ambiente* y *nanopartículas, riesgos y medio ambiente*, respectivamente, son producto de años de actividades conjuntas con la colega de la Red Brasileña de Investigación en Nanotecnología, Sociedad y Medio Ambiente –RENANOSOMA– la Dra. Arline Arcuri, coordinadora del proyecto *Nanotecnología* de la Fundación JORGE DUPRAT – FUNDACENTRO / SÃO PAULO.

- a) En la escala nanométrica los materiales comienzan a exhibir determinadas propiedades únicas que afectan a sus comportamientos físicos, químicos y biológicos. Por ejemplo, el oro cambia de color en varios niveles nano, incluso llega a cambiar su punto de fusión. En escala macro, este se funde a 1064°C, dividido en partículas de 5 nm (nanómetros) puede fundirse a alrededor de los 830°C, mientras que las partículas de aproximadamente 2 nm pueden permanecer en estado líquido a 350°C;<sup>3</sup>
- b) Sustancias que son estables en dimensiones mayores se vuelven reactivas; las aislantes pueden volverse conductoras y las que son opacas volverse transparentes. Conocer las características de las sustancias de un mayor tamaño no provee de la información suficiente para conocer sus propiedades a nivel nano. Así pues, las propiedades de las sustancias en la escala nano se deben descubrir a través de la experimentación;
- c) Lo que más preocupa en relación a la seguridad y salud de los trabajadores y el medio ambiente son las nanopartículas, especialmente las insolubles o las poco solubles. Debido a su reducido tamaño las nanopartículas tienen una gran relación superficie/volumen, lo que produce nuevas propiedades físicas y químicas. Esto incluye un aumento de la capacidad de reacción química en la superficie;
- d) Otra razón que explica que las sustancias cambien de comportamiento a nivel nano es el dominio de los efectos cuánticos. En la medida en que la materia es reducida a escala nanométrica, sus propiedades comienzan a ser dominadas por efectos cuánticos.

---

### Un material perfectamente seguro para ser manejado en un mayor tamaño, a nivel nano puede penetrar fácilmente en la piel o transformarse en aerosol y entrar en el organismo

---

Estas características de las partículas a escala nanométrica son las responsables de que las propiedades de los materiales y elementos químicos se alteren drásticamente. Apenas con la reducción de tamaño y sin alteración de la sustancia se constata que los materiales presentan propiedades y características alteradas tales como resistencia, maleabilidad, elasticidad, conductividad y poder de combustión. Así pues, conocer las características de las sustancias en un mayor tamaño no ofrece una información extrapolable a sus propiedades en un nivel nano.

Un material perfectamente seguro para ser manejado en un mayor tamaño, bajo la forma de una nanopartícula puede penetrar fácilmente en la piel o transformarse en aerosol y entrar en el organismo a través de la vía respiratoria.

---

<sup>3</sup> M. B. Cortie, «The weird world of nanoscale gold», Gold Bulletin, marzo 2004, vol. 37, Issue 1, pp 12-19. <http://link.springer.com/journal/13404/37/1/page/1> [acceso el 2 de abril de 2016].

La mayor capacidad de reacción se debe a una gran área de superficie y a los efectos cuánticos, lo que puede provocar una interacción con los sistemas biológicos de formas desconocidas. Aunque todavía haya muchas dudas sobre sus efectos, ya se sabe, a través del estudio de las nanopartículas antropogénicas, que estas entran en el cuerpo principalmente a través de la inhalación y son depositadas en los pulmones. Algunas pueden afectar directamente al cerebro vía nervio olfativo. Estas partículas no siempre son eliminadas de los pulmones, y, en este caso, pueden causar inflamaciones pulmonares que potencialmente causen enfermedades. Además, algunas de estas diminutas partículas pueden pasar a través de las barreras protectoras de los pulmones y alcanzar el torrente sanguíneo. En este caso son distribuidas por diversas partes del cuerpo, y pueden ocasionar diferentes daños.

La toxicidad de las nanopartículas, según la guía de la ASTM, no solo depende de sus características fisicoquímicas. La acción tóxica también puede ser el resultado de las diferentes propiedades, algunas de las más significativas:

- Tamaño y distribución de tamaño.
- Forma.
- Estado de la aglomeración.
- Biopersistencia, durabilidad y solubilidad (agua y grasa).
- Superficie.
- Porosidad (los polvos porosos tienen un área de superficie mucho mayor que la de los no porosos).
- Química de la superficie, incluidas la composición, la energía superficial, la humectabilidad, la carga, la reactividad, las especies adsorbidas o la contaminación. Un posible cambio en la cobertura de las partículas también es citado por algunos autores.
- Trazas de contaminantes o impurezas.
- La composición química, incluyendo la dispersión de la composición.
- Propiedades físicas como la densidad y la conductividad. Algunos artículos incluyen: dureza y capacidad de deformación.
- La estructura cristalina.

De esta forma, la sola evaluación de la masa de la nanopartícula dispersa en el aire o en ambientes de trabajo no es suficiente para hacer una valoración de la exposición del trabajador, elemento que debe ser considerado en la estimación de riesgos laborales. En este caso ¿cuál sería la unidad métrica de dosis más adecuada para evaluar la exposición: masa, área de superficie, número de partículas y/u otros?

Las situaciones de posible riesgo de exposición de los trabajadores a las nanopartículas son diversas, entre ellas destacan:

- Manipulación/transferencia con nanopartículas.
- Limpieza y mantenimiento de los equipos e incluso de PPE usado en el proceso.
- Desechos.
- Posible descomposición de material aglomerado.
- Trabajar en un medio líquido.
- Ruptura mecánica de materiales susceptibles de transformarse en aerosoles.

En el análisis de la gestión de riesgos debe tenerse en cuenta todo el ciclo de vida de los productos, desde los laboratorios de investigación de nuevos productos y de control de calidad, pasando por las operaciones a escala piloto del laboratorio a la industria, producción/fabricación, transporte, incorporación en otros productos, hasta la producción de residuos y su tratamiento, ya sea por eliminación a través de descomposición o de otras técnicas incluso el reciclaje.

## Nanopartículas, riesgos y medio ambiente

Para realizar una adecuada evaluación de los riesgos de los nanomateriales sobre el medio ambiente existen múltiples incógnitas que todavía deben de ser resueltas, entre estas encontramos:

- ¿Qué características específicas de los nanomateriales albergan una toxicidad de mayor alcance para los diferentes ambientes ecológicos?
- ¿De qué manera llegan los nanomateriales al medio ambiente? ¿Cuáles son sus medios de dispersión? ¿Estos materiales se transforman en contacto con el medio ambiente? ¿Qué efectos pueden causar en las diferentes formas de vida del planeta?
- ¿Cómo son transportados los nanomateriales a través de la atmosfera? ¿Cuáles son las interacciones entre sus propiedades y las condiciones atmosféricas que pueden influir en su dispersión?
- ¿Cuáles son los factores físicos y químicos que influyen en el transporte y depósito de los nanomateriales producidos de forma intencionada en el medio ambiente? ¿Los nanomateriales se mueven a través de estos medios de manera diferente que los materiales comparables a una mayor escala? ¿Puede la información existente sobre el destino de los coloides en el suelo, así como el transporte y el destino de las partículas ultrafinas en la atmósfera, ayudar a comprender lo que sucede?
- ¿En qué medida los nanomateriales son “móviles” en el suelo y en el agua subterránea? ¿Cuál es el riesgo potencial de estos materiales si se liberan en el suelo o sobre un vertedero, que termina por filtrarse a las aguas subterráneas y los acuíferos?
- ¿Cuál es el potencial riesgo de estos materiales cuando son transportados unidos a otras partículas en suspensión (material particulado), en los sedimentos o lodos de aguas superficiales?

- ¿De qué manera la agregación, adsorción y aglomeración de nanopartículas afecta a su transporte?
- ¿La aglomeración/desaglomeración cambia la toxicidad en diversos medios de comunicación y receptores ecológicos diferentes? ¿Los test actuales detectan adecuadamente la probabilidad de que estos procesos se produzcan en los sistemas naturales?
- ¿Cómo se bioacumulan los nanomateriales? ¿Sus características individuales afectan a su biodisponibilidad? ¿Los nanomateriales son bioacumulables en mayor o menor medida que los materiales en escala macro o en una escala más grande?
- ¿Cuáles son los factores físicos y químicos que afectan a la persistencia de los nanomateriales producidos de forma intencionada en el medio ambiente? ¿Los datos disponibles sobre los factores fisicoquímicos que afectan a la persistencia de los nanomateriales producidos de forma involuntaria pueden proporcionar información acerca de los producidos intencionalmente?
- ¿Cuál es el potencial de los nanomateriales para interactuar con el medio ambiente, en particular aquellos con propiedades catalíticas?
- ¿Hay especies o subpoblaciones que puedan estar en riesgo por los efectos adversos incrementados y asociados con la exposición a los nanomateriales manufacturados?
- ¿Pueden utilizarse los datos existentes sobre toxicidad para las partículas, fibras naturales u otros materiales de mayor tamaño producidos no intencionadamente para evaluar las directrices existentes?
- ¿Es posible aplicar los resultados de los estudios para la salud humana, que albergan datos in vitro, in vivo, e “in silico”, a los objetivos ecológicos?
- ¿Los métodos actuales de análisis son capaces de determinar la toxicidad producida intencionalmente de una amplia variedad de nanomateriales y subproductos asociados con la producción y aplicación?
- ¿Qué nuevas medidas de índole técnica sería necesario implantar para verificar la exposición ambiental o laboral? ¿Estas técnicas pueden distinguir entre diferentes tipos de partículas, y entre las que son de origen natural y las producidas artificialmente?

A través de todas estas preguntas constatamos que resulta necesario tener en cuenta el principio de precaución en el desarrollo de estas nuevas tecnologías y en todo el ciclo de vida de los productos nanomanufacturados.

## Nanopartículas y la dinámica socioambiental

El contexto en que se produce el desarrollo de la nanotecnología en Brasil y en general en el mundo occidental es el de una sociedad marcada por la existencia de conflictos y la divergencia de intereses económicos y sociales. Como ocurre en el sistema capitalista, el impac-

to colectivo de cualquier innovación tecnológica está en disputa. Esto significa que ni la ciencia ni la tecnología son neutrales y que sus posibles aplicaciones serán captadas por diferentes grupos y clases sociales, en función del proceso político y social.

La visión hegemónica existente entre los científicos establece una diferencia entre la ciencia básica y la aplicada, en la que destaca el carácter neutral de la producción del conocimiento científico (ciencia básica). Sin embargo, existe el concepto de la tecnociencia que une todos los conocimientos científicos en la producción de bienes. Si, por una parte, esta visión responsabiliza a los científicos por sus descubrimientos, por otra, los aproxima intensamente a los intereses de los grandes grupos económicos. Por lo tanto, a través de esta perspectiva se vincula la investigación a un único propósito, el de la producción de bienes más atractivos para ser comercializados y no el del aumento de conocimiento.

---

### Ni la ciencia ni la tecnología son neutrales. Sus posibles aplicaciones serán captadas en función del proceso político y social por diferentes grupos y clases sociales

---

Por lo tanto, estamos de acuerdo con Edgar Morin cuando afirma que: «La ciencia produjo una extraordinaria potencia al asociarse cada vez más estrechamente con la tecnología, cuya evolución ininterrumpida impresiona ininterrumpidamente la economía. Todos estos progresos relacionados transformaron las sociedades en profundidad. Por lo tanto, la ciencia es omnipresente, con innumerables interacciones-retracciones en todos los campos, pues crea poderes gigantescos y es totalmente incapaz de controlarlos. El vínculo entre ciencia, tecnología, sociedad y política es evidente. La época en que los juicios de valor no podían interferir en la actividad científica se terminó».<sup>4</sup>

El mismo Edgar Morin ya indicó que esta forma de producir nuevos conocimientos científicos y tecnológicos en la era de la globalización implica que «la nave espacial terrestre se mueve por cuatro motores asociados y, al mismo tiempo, descontrolados: la ciencia, la tecnología, la industria y el capitalismo (ganancia)». El problema está en establecer un control sobre estos motores. Los poderes de la ciencia, la tecnología y la industria solo pueden ser controlados por la ética, que a su vez solo puede imponer su control a través de la política.

De acuerdo con el trabajo realizado por los colegas de la Red de Investigación brasileña en Nanotecnología, Sociedad y Medio Ambiente —RENANOSOMA—, podemos subrayar que:

---

<sup>4</sup> E. Morin, *El método 6. Ética*, Porto Alegre, 2ª Ed., Traducción de Juremir Machado de Assis, Sulina, 2005, p. 71.



El desarrollo de la nanotecnología está relacionado con esa lógica conceptual, ya que no solo se limita a los científicos y tecnólogos, sino que es un proceso negociado, o más bien pactado, con otros actores como los empresarios, consumidores, sindicalistas, trabajadores, funcionarios públicos y ambientalistas en una larga serie de aproximaciones sucesivas de los intereses en juego. Si la adopción de una tecnología impacta en el tejido social y las interacciones entre los miembros constituyen una cuestión política, debe estar abierto a examen de las ciencias sociales y este es el caso de la nanotecnología. No hay que olvidar que los procesos de investigación de innovación científica y tecnológica siempre han sido objeto de un conflicto de intereses políticos, pues la ciencia como producto humano no es neutral, está orientada a los intereses de aquellos que invierten en su producción y desarrollo. Los ingenieros y los técnicos involucrados en la innovación tienen visiones específicas de una sociedad futura con importantes implicaciones políticas.<sup>5</sup>

En relación a la interacción dinámica entre el sistema natural y el social todavía se conocen relativamente pocas cosas. En este sentido, para entender mejor este proceso en nuestras sociedades complejas se deben tener en cuenta —de forma resumida— las siguientes características:

- a) El capital privado con fines de lucro; b) El papel de la tecnología en la eliminación de puestos de trabajo; c) El aumento del uso de productos químicos y energía; d) El crecimiento necesario para que el Estado pueda mitigar el impacto del desempleo y el aumento de los gastos militares; e) El crecimiento de la conversión de la naturaleza en mercancías y residuos; la política económica se hace insostenible.

En este contexto, los recursos públicos se dirigen a la creación de conocimientos acerca del proceso de producción a través de una “ciencia de la producción.” El objetivo es la producción de nuevos procesos y materiales destinados a poner nuevos productos en los mercados para ser consumidos. Por supuesto, también destinados a las aplicaciones militares. Los recursos públicos para la investigación en “impactos de la ciencia” son infinitamente menores que los de la “ciencia de la producción”. Por lo tanto se concluye que no hay un aumento en el conocimiento de los impactos sobre el medio ambiente y la salud humana.

## Los actores públicos y privados en la construcción de las promesas, problemas y riesgos nanotecnológicos

En lo que respecta a los agentes públicos, el desarrollo de la nanotecnología puede ser analizado a través de su proceso de institucionalización, como el ejemplo de los Estados

<sup>5</sup> T. Silva *et al.*, «Desenvolvimento, modernidade e nanotecnologia», en T. Silva, E. M. y W. Waissmann, *Nanotecnologias (ORG), Alimentação e biocombustíveis. Um olhar transdisciplinar*. Editorial Criação, Aracaju, 2014, p. 15.

Unidos. Esta es una de las referencias para demostrar la importancia actual y futura de la nanotecnología. Estas referencias pueden ser institucionales como la Iniciativa Nacional de Nanotecnología<sup>6</sup> del gobierno de EE UU o la Junta de Investigación de la Unión Europea.<sup>7</sup>

Con respecto a los actores privados que participan en la construcción de promesas en torno a la nanotecnología se puede afirmar que todas las grandes compañías denominadas multinacionales están presentes en procesos de desarrollo de nanotecnologías y, en general, aplican recursos financieros en cantidades similares a las que destinan los gobiernos de EE UU y de la Unión Europea.<sup>8</sup> Los datos que proporcionan estas empresas acerca de las proyecciones de los precios de mercado, el crecimiento porcentual anual, las cantidades invertidas, los puestos de trabajo creados o el comercio internacional han de ser siempre analizados con cautela porque, en general, no se informa acerca del modo en que estas empresas alcanzan dichas cifras y, además, estos datos pasan a citarse como si fueran verdades absolutas. Como ejemplo, disponemos del informe «Mercado global de nanomateriales» elaborado por la consultoría WiseguyReports.com, en el que se afirma que el valor del mercado mundial de productos nano en el año 2014 alcanzó los 3.800 millones (de dólares americanos) y que para 2020 este valor será de 11.800 millones. Todo ello indica que vamos a asistir a una tasa de crecimiento anual de un 23,1% en el período 2015-2020.

El caso paradigmático de la interacción entre los actores públicos y privados que participan en la construcción de promesas acerca de la nanotecnología es la empresa Bayer MaterialScience. Esta empresa de origen alemán trabajó con el “producto estrella” de la nanotecnología en la primera década de este siglo: los nanotubos de carbono. Una de sus características más destacables es que son cien veces más ligeros que el aluminio y seis veces más fuertes que el acero. Varios grupos de investigación científica que se forjaron toda una reputación estudiando estos nanotubos carbónicos se convirtieron en vehículos de publicidad de este producto. Bayer MaterialScience ha vendido nanotubos desde 2007. La capacidad de producción de la planta industrial de este producto, denominado *baytubes*, se triplicó en 2010, cuando pasó a tener capacidad para producir 200 toneladas al año de nanotubos de carbono, anticipándose así al crecimiento previsto por estos constructores de promesas.

A pesar de que esta empresa pertenece al conglomerado empresarial del gigante Bayer, cuya lema es «si es Bayer, es bueno», las promesas de la nanotecnología en relación con el mercado de nanotubos de carbono dio lugar a que en 2013 Bayer MaterialScience tomara la decisión de cerrar la Baytubes alegando «que las potenciales aplicaciones de los nanotubos

---

<sup>6</sup> Información disponible en: <http://www.nano.gov/>

<sup>7</sup> Más información disponible en: <http://cordis.europa.eu.int/nanotecnología/>

<sup>8</sup> Algunas de las principales empresas que están invirtiendo en nanotecnología son: Arkema, Bayer AG, Showa Denko, DuPont, Ahlstrom, Hollingsworth & Vose, Kuraray, Finetex, Elmarco, Nanocyl SA, CNano Technology Ltd. and Hyperion Catalysis International Inc., entre otros.

eran consideradas como “fragmentadas” y demasiado alejadas de sus productos principales y sus aplicaciones derivadas». <sup>9</sup> Las razones aducidas sobre la fragmentación y lejanía del mercado de los productos principales del conglomerado Bayer es una prueba de cómo estas promesas están presentes en el desarrollo de las nanotecnologías construidas por estos actores públicos y privados.

El nuevo material elegido como “producto estrella” es ahora el grafeno utilizado por Andre Geim y Konstantin Novoselov en sus innovadores experimentos que les concedieron el premio Nobel de Física en 2010. <sup>10</sup> Por lo que se ve, las ilusiones y promesas en torno a estos nanoproductos continuarán ya que estas constituyen una de las características de la reproducción de la tecnociencia. <sup>11</sup>

Uno de los problemas centrales del desarrollo de la nanotecnología en todo el mundo es la producción asimétrica de conocimiento que podemos clasificar en dos grandes bloques: “la ciencia de la producción” y “la ciencia de los impactos”. Las investigaciones llevadas a cabo por la Red Brasileña de Investigación en Nanotecnología, Sociedad y Medio Ambiente en el caso del desarrollo de la nanotecnología en Brasil, y en otras instituciones, como el Instituto Europeo de Comercio de la Unión (ETUI, en sus siglas en inglés), el Centro de Derecho Ambiental (CIEL), el ETC Group, el Centro Internacional para la Evaluación de la Tecnología (ICTA), y el Instituto de Agricultura y Políticas Comerciales (IATP), apuntaban a que los recursos públicos movilizados para sostener los diversos grupos de investigación que trabajan en redes globales se utilizaron principalmente para la producción de nuevos conocimientos en nanotecnología de lo que llamamos “ciencia de la producción” y solo una cantidad mínima en “la ciencia de los impactos”. En Brasil, el porcentaje que se aplica en este último tipo de investigación es solo el 1% de los millones de fondos públicos reales invertidos en el desarrollo de la nanotecnología. En el norte de Europa y América, el porcentaje está entre el 5% y el 8%, dependiendo de la fuente que se consulte y de que se incluye de investigación de la llamada “ciencia de los impactos”. De todas formas, existe una gran asimetría en el uso de los recursos públicos para estos dos tipos de ciencia (producción e impactos) aquí expuestos.

<sup>9</sup> Disponible en: <http://www.rsc.org/chemistryworld/2013/05/carbon-nanotubes-not-commercially-viable-bayer> [visitado el 8 de abril de 2016].

<sup>10</sup> Como material completamente novedoso, el grafeno no es solo el más fino sino también el más resistente de los materiales obtenidos. Como conductor de la electricidad es tan bueno como el cobre. Como conductor del calor es mejor que cualquier otro material. Y es prácticamente transparente, pero al mismo tiempo tan denso que ni el propio helio, el menor de los átomos de gas, puede pasar a través de él. Con la exploración de las propiedades del grafeno es posible encontrar una amplia variedad de aplicaciones prácticas, como la creación de nuevos materiales y la producción de componentes electrónicos innovadores. Disponible en: <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2010/10/nobel-de-fisica-vai-para-andre-geim-e-konstantin-novoselov.html> [acceso el 8 de abril de 2016].

<sup>11</sup> Para más información sobre los “HYPE” relativos a los denominados “popstars” consultar –entre otros– los siguientes artículos: a) M. Davenport, «Much ado about small things. The hype over carbon nanotubes has died down, but researchers believe the structures still have potencial», *C.N.ACS.ORG*, 10, 8 de junio de 2015, 8; b) R. Van Noorden, «The Trials of new carbon», *Nature*, vol. 469, enero de 2011.

Como se ha demostrado, casi todos los fondos públicos invertidos en la investigación de nuevos conocimientos están relacionados con la “ciencia de la producción”. En la medida en que toda la investigación producida en tiempos de tecnociencia está ligada a la aplicación para la reproducción ampliada del capital, es necesario que las incertidumbres presentes en este proceso (lagunas en el conocimiento de como los fenómenos físicos, químicos y biológicos se producen a escala nanométrica) se resuelvan, puesto que no se puede vender un producto en el que el fabricante informe al consumidor de que no está seguro de su eficacia.

---

### Uno de los problemas centrales del desarrollo de la nanotecnología es la producción asimétrica de conocimiento entre la “ciencia de la producción” y la “ciencia de los impactos”

---

Para reducir el grado de incertidumbre es necesario producir más conocimiento aplicado a la producción de nuevos productos y/o procesos. Por lo tanto, los recursos públicos se aplican principalmente para superar este obstáculo, lo que permite controlar la reproducción del capital ampliado encarnado en cada uno de los bienes y/o servicios comercializados.

Pero este es un proceso que tiene su “otra cara de la moneda”, es decir, el hecho de que los fondos públicos se canalicen de forma asimétrica, como se ha mencionado, es el resultado de que las incertidumbres relativas a los riesgos planteados por la nanotecnología en relación con el medio ambiente, la salud humana, animal y vegetal se mantienen en niveles inaceptables, ya que los recursos públicos asignados a la producción de conocimiento en la “ciencia de la producción” son realmente reducidos. Como consecuencia, la investigación acerca de los riesgos de las nanopartículas en el medio ambiente no puede ocupar un lugar central, cuestión que repercute en la incertidumbre en torno a los impactos medioambientales. Sí que se han producido protocolos para que las investigaciones puedan ser realizadas por grupos de investigación de diferentes continentes y que sus resultados se pueden comparar.

## Conclusiones para el debate

Para superar la ruta hegemónica del desarrollo de la tecnociencia en relación con la nanotecnología y teniendo en cuenta las características de las relaciones entre nanotecnología/nanopartículas y el medio ambiente es necesario:

- 1) Los impactos ambientales producidos por la nanotecnología tienen que convertirse en asuntos públicos, de modo que el compromiso público y el control social estén presentes

- en la lucha que los actores sociales hagan por el control del desarrollo de las nanotecnologías en todos los países;
- 2) Los recursos públicos disponibles para la producción de nuevos conocimientos en nanotecnología deben reasignarse a fin de reducir las incertidumbres relacionadas con su impacto en el medio ambiente;
  - 3) Los impactos de la nanociencia/tecnología deben servir de guía de la producción científica con el fin de identificar las prioridades para la investigación que se ha de realizar y el conocimiento a producir.