



La nanotecnología: una **solución** en **busca** de **problemas**

GUILLERMO FOLADORI

NOELA INVERNIZZI*

Las nuevas tecnologías siempre se han impuesto en la marcha, y los errores y consecuencias negativas se corrigen a posteriori. En tiempos pasados, cuando el error era, por ejemplo, el sobrepastoreo o la tala hasta la extinción de un bosque, los grupos humanos emigraban en busca de otros recursos. En los últimos decenios, como consecuencia de una tecnología de extensas repercusiones, los errores se han convertido en catástrofes, como los accidentes de reactores nucleares o la lenta acumulación de dióxido de carbono y otros gases con efecto de invernadero en la atmósfera. Al decir de Beck,¹ aumenta el poder de la tecnología y aumenta el riesgo de daños con alcance global.

La nanotecnología es la revolución tecnológica en curso. Se impondrá en uno o en cuatro decenios, pero todo indica que se impondrá. ¿Cuáles serán las consecuencias? Es algo imposible de prever, pero en los países desarrollados la preocupación pública busca adelantarse a los resultados imprevistos. Existen indicios sobre los posibles efectos de las nanopartículas en la salud, el medio ambiente y el poderío militar, así como sus consecuencias en los países menos desarrollados o aquellos que aún no se incorporan a la carrera de lo diminuto. Sin embargo, la mayor parte de los documentos sobre nanotecnología destaca que las consecuencias serán menores frente a las enormes ventajas para la sociedad

* Profesores del doctorado en Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas <foia@cantera.reduaz.mx> y <noela@cantera.reduaz.mx>

1. Ulrich Beck, *Risk Society: Towards a New Modernity*, Sage Pub., Londres, 1992.

en términos de manipulación y control de los seres vivos (incluidos los humanos mismos), aumento de la productividad industrial y agropecuaria, descontaminación barata y rápida del aire y el agua, utilización de energías renovables limpias, etcétera.²

Luego de revisar qué es la nanotecnología, y las bases de su expansión como nueva revolución tecnológica, en este trabajo se anotan sus posibles efectos perjudiciales en la salud, el medio ambiente y las relaciones políticas y personales. Después se concluye con una reflexión sobre las implicaciones económicas entre países y en las relaciones sociales.

¿QUÉ ES A FIN DE CUENTAS LA NANOTECNOLOGÍA?

La nanotecnología es el estudio y la manipulación de la materia en escala muy pequeña, un rango entre 1 y 100 nanómetros. Mil millones de nanómetros hacen un metro. Un virus mide entre 20 y 300 nanómetros.³ Dicho de otra forma, la nanotecnología manipula átomos y moléculas para construir cosas (o seres vivos). Uno podría imaginarse un laboratorio donde combinando moléculas apropiadas en calidad y cantidad se creasen taladros eléctricos. Aunque esto en términos teóricos es posible, lograrlo llevaría mucho tiempo, al menos hasta que se disponga de nanorrobots para emplearlos en esa tarea. Pero ésta será una fase posterior. Lo que en la actualidad se hace son nanoproductos que se combinan con objetos “normales” para darles un uso especial o más eficiente.

Ya se venden palos de golf o raquetas de tenis con nanocomponentes que los hacen más resistentes o flexibles. También hay zapatos con nanocomponentes que mantienen la temperatura del cuerpo, sin importar cuál sea el ambiente externo. Según el *Nanotech Report*,⁴ entre los primeros productos con contenidos nanotecnológicos comercializados en 2004 se encuentran el calzado térmico (Aspen Aeogels), colchones que repelen sudor y polvo (Simmons Bedding Co.), palos de golf con las características antes señaladas (Maruman & Co.), cosméticos personales ajustados a edad, raza, sexo, tipo de piel y actividad física (Bionova), vestidos que evitan las infecciones en heridas y quemados (Westaim Corporation), desinfectantes y limpiadores que se aplican

La nanotecnología es el estudio y la manipulación de la materia en escala muy pequeña, un rango entre 1 y 100 nanómetros. Dicho de otra forma, la nanotecnología manipula átomos y moléculas para construir cosas (o seres vivos)

a aviones, barcos, submarinos, etcétera. (EnviroSystems), aerosoles que repelen agua y suciedad, utilizados en la industria de la construcción (BASF), tratamiento para vidrios que repele el agua, nieve, insectos (Nanofilm), crema contra el dolor muscular (CNBC) y adhesivos dentales que fijan mejor las coronas (3M ESPE). Lux Research, empresa dedicada al estudio de la nanotecnología y sus negocios, calcula que la venta de artículos con nanopartículas superará los 500 000 millones de dólares en 2010.⁵

Lo que caracteriza a la nanotecnología como gran novedad son al menos cuatro aspectos. En primer lugar, se trata de construir de lo más pequeño (átomos y moléculas) a lo más grande (producto final) —proceso *bottom-up*—, en lugar de comenzar por la materia física tal como viene dada en la naturaleza, según sus estructuras de unión propias, y reducirla al tamaño de los objetos de uso, como se venía haciendo hasta ahora (proceso *top-down*). A pesar de que este camino ya se conocía en procesos químicos, la novedad radica en que ahora los átomos y las moléculas se pueden ma-

2. P. Antón, R. Silbergliitt y J. Schneider, *The Global Technology Revolution. Bio/Nano/Materials Trends and their Synergies with Information Technology by 2015*, National Intelligence Council, RAND, National Defense Research Council, 2001.

3. Meridian Institute, *Nanotechnology and the Poor: Opportunities and Risks*, 2005 <www.nanoandthepoor.org>.

4. Forbes, *Nanotech Report*, vol. 3, núm. 12, 2004, pp. 1-3 <www.forbesnanotech.com>.

5. Como referencia, todas las exportaciones de América Latina y el Caribe en 2004 totalizaron 461 000 millones de dólares; la deuda externa de América Latina y el Caribe en 2004 fue de 721 000 millones de dólares (CEPAL, *Balance preliminar de las economías de América Latina y el Caribe*, CEPAL, Santiago, Chile, 2004). Véase S. Bakery y A. Aston, “The Business of Nanotech”, *Business Week*, 14 de febrero de 2005.

nipular de manera directa para construir productos.⁶ Esto constituye una novedad en la historia de la humanidad, una nueva forma de concebir el mundo. Sus consecuencias son ilimitadas: baste pensar en que un producto construido mediante la suma de átomos o moléculas no genera ningún desperdicio.

En segundo lugar, en ese nivel atómico no hay diferencia entre la materia biótica y la abiótica, de manera que resulta potencialmente posible aplicar procedimientos biológicos a los procesos materiales, o interferir con materiales en los cuerpos vivos, adaptando estos últimos a determinados fines u ofreciendo ventajas particulares, o también crear vida artificial para desempeñar funciones específicas. Un ejemplo podrían ser dispositivos que permitieran al cuerpo descansar sin dormir, lo que sería útil en la guerra y otras actividades de gran intensidad física y mental.

En tercer lugar, cualquiera de los elementos químicos manipulados en el nivel nano despliega propiedades físicas diferentes que las correspondientes a una escala mayor. Puede que sea más resistente, ofrezca mayor conductividad eléctrica, cambie de color, etcétera. Al cambiar las propiedades físicas de la materia surgen posibilidades que sorprenden y entusiasman a los científicos. Muchos de los nanomateriales que ya están a la venta aprovechan esta ventaja. Los nanotubos de carbono, por ejemplo, son más duros que el diamante y entre 50 y 100 veces más fuertes que el acero.

Por último, la nanotecnología combina varias tecnologías y ciencias, como informática, biotecnología y tecnología de materiales. Esto último no es un asunto menor si pensamos que un verdadero despliegue de la nanotecnología requerirá de una formación profesional por completo novedosa, que obligará a reelaborar planes de estudio tal vez desde la educación primaria.

Los posibles beneficios de la nanotecnología son imposibles de calcular. En el área de la salud podría aumentar la calidad de vida y su duración. Nanosensores incorporados al propio organismo, que viajen por la sangre como si fueran virus, podrán detectar enfermedades y combatir las de modo eficiente antes de que se expandan. Los medicamentos no serán genéricos, sino específicos de la persona según la composición genética individual, sexo, edad, tipo de alimentación, etcétera. Los mecanismos de envejecimiento podrán retardarse e incluso revertirse para que la vida se prolongue

más allá de 100 años. Con sensores artificiales, la persona se podrá convertir en un ser biónico si mejora sus capacidades biológicas y desarrolla otras. Quién sabe si en un futuro no muy lejano porte usted un chip que encienda el gen transplantado del murciélago *Glossophaga soricina* para permitirle la visión ultravioleta. El campo de las prótesis es también uno de los más prometedores.

En el área de los materiales, la novedad son las nanopartículas inteligentes. Su guardarropa, por ejemplo, podrá reducirse a un solo equipo. La ropa en cuestión reaccionará a los cambios de temperatura, lluvia, nieve, sol, etcétera, para mantener siempre el cuerpo a la temperatura programada. Además repelerá el sudor y el polvo, de modo que no tendrá necesidad de lavandería. Por si fuera poco, impedirá que bacterias o virus la penetren, y aun podría mantenerlo a salvo de posibles atentados bioterroristas. En caso de accidente, si no viajara usted en un auto nanoconducido de accidentarse, la vestimenta tendría efectos curativos y le procuraría los primeros auxilios. Lo mismo que se aplica al vestido podría aplicarse a viviendas y medios de transporte.

Otra novedad son los nanotubos de carbono, de 59 a 100 veces más fuertes que el acero y con 1/6 de su peso, que tendrán efecto especial en la industria aeroespacial, la construcción, la industria automovilística y muchas otras.

El área de la informática y las comunicaciones será una de las primeras y más revolucionadas. Computadoras cientos de veces más rápidas y varias veces más pequeñas y ligeras podrán programar la producción según las preferencias de diseño, tamaño, forma, color, olor, resistencia, etcétera, del comprador. Los prototipos elaborados con sensores incorporados acelerarán los diseños y se adaptarán a procesos de producción flexibles en diferentes partes del mundo superando muchas de las barreras que la distancia impone. La antigua producción justo a tiempo será obsoleta y, quién sabe, surgirá una acorde a las necesidades (*as you need*). Las posibilidades de la concentración monopólica de la producción, que algunos llaman de *global business enterprises*, se multiplicarán.

La combinación de sistemas computarizados, laboratorios químicos, sensores en miniatura y seres vivos adaptados a funciones específicas revolucionará la medicina (un laboratorio en un chip o *lab-on-a-chip*), pero también será una rápida solución a los históricos problemas de contaminación. Tal vez pequeñas bacterias provistas de sensores sean capaces de consumir cuerpos de agua contaminados por metales pesados, o descontaminar en tiempo récord la atmósfera terrestre. Nanocápsulas con sistemas combinados de sensores y aditivos revolucionarán las industrias de lubricantes, filtros, farmacéutica, etcétera.

6. The Royal Society y The Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*, The Royal Society y The Royal Academy of Engineering, Londres, 2004 <www.royalsoc.ac.uk/policy> y <www.raeng.org.uk>. Consultado el 12 de febrero de 2005.



¿DE DÓNDE SALIÓ LA NANOOLEADA?

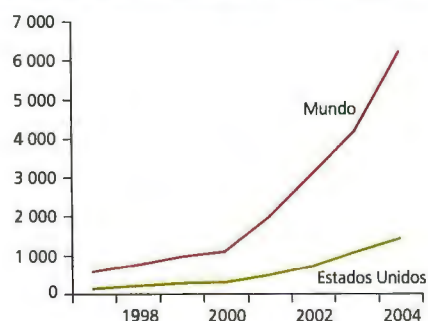
Los estudiosos de la ciencia y la tecnología están sorprendidos. Pareciera que se trata de la primera revolución tecnológica impuesta a la economía desde la ciencia y el poder. En términos técnicos, en lugar de un proceso *market pull* habría uno *science push*.⁷ Más aún, los estudios de los potenciales efectos sociales de la nanotecnología se han impuesto de arriba abajo.⁸ Hasta principios de 2005, el grueso del financiamiento para la investigación en nanotecnología provenía de fondos públicos.⁹

Muchos países han desarrollado programas específicos con cuantiosos presupuestos públicos para la investigación. La gráfica muestra el rápido crecimiento de las inversiones públicas en nanotecnología a escala mundial y en Estados Unidos.

En 2004, los fondos federales de Estados Unidos totalizaron 1 000 millones de dólares y los de los estados y gobiernos locales, 400 millones, de modo que los fondos públicos se cifraron en 1 400 millones de dólares.¹⁰ En Europa, las

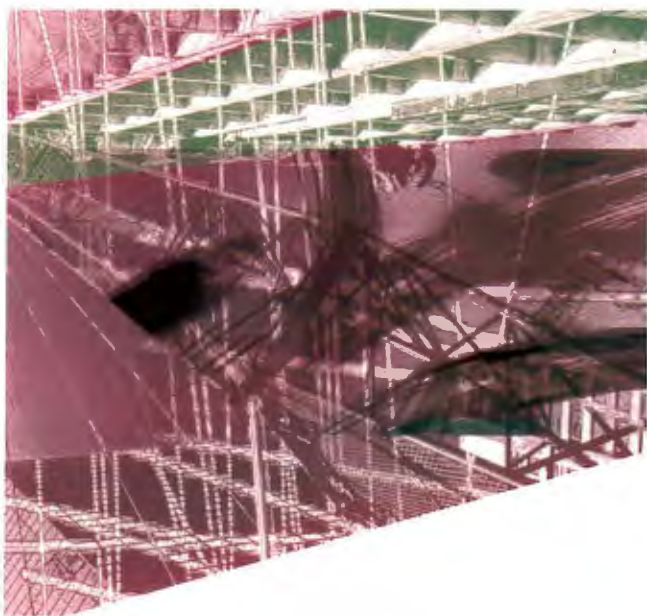
inversiones públicas fueron de 1 100 millones de dólares en 2003, cantidad que crecerá, se supone, a 1 700 millones en los próximos años. Los fondos públicos japoneses crecieron de 400 millones en 2001 a 800 millones en 2003. Muchos otros países, como Israel, China, Corea del Sur, Taiwan, Tailandia, Brasil y Sudáfrica, invierten de manera sostenida en

FONDOS PÚBLICOS DESTINADOS A INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN NANOTECNOLOGÍA, 1997-2004 (MILLONES DE DÓLARES)



Fuente: elaboración propia con datos de NanoxChange, *Lux Research Releases. The Nanotech Report 2004. Key Findings*, 2004; M. Roco, "Broader Societal Issues of Nanotechnology", *Journal of Nanoparticle Research*, núm. 5, 2003, pp. 181-189; E. Mantovani, "Nanotechnology in the World Today", ponencia presentada en Present Situation and Forecasts of Nanotechnology in: Materials, Health and Medical Systems, Energy, NRM (Nanoroadmap Project), Roma, 4-5 de noviembre de 2004 <www.nanoroadmap.it/events/first_conference/presentations/mantovani.pdf>. Consultado el 20 de febrero de 2005.

7. J. Wilsdon y R. Willis, *See-through Science. Why Public Engagement Needs to Move Upstream*, DEMOS, Londres, 2004.
8. I. Bennett y D. Sarewitz, "Too Little, Too Late?", *Research Policies on the Societal Implications of Nanotechnology in the United States*, borrador, enero de 2005, CSPO, ASU <www.cspo.org>. Consultado el 14 de marzo de 2005.
9. NanoxChange, *Lux Research Releases. The Nanotech Report 2004. Key Findings*, 2004 <www.nanoxchange.com/NewsFinancial.asp?ID=264>. Consultado el 12 de febrero de 2005.
10. Lux Research, "Statement of Findings: Benchmarking U.S. States in Nanotech", en *Benchmarking U.S. States for Economic Development from Nanotechnology*, diciembre de 2004 <www.luxresearchinc.com>.



la investigación de nanotecnologías.¹¹ Por cierto, el tenor de las inversiones públicas de los países en desarrollo contrasta con el que siguen las naciones que ya se perfilaron como líderes en nanotecnología. Brasil, el país latinoamericano con programas de investigación en nanotecnología mejor organizados, prevé invertir alrededor de 27 millones de dólares entre 2004 y 2007.¹² Esta carrera de inversión pública en investigación y desarrollo en nanotecnología está llamada a montar las bases para el despegue de su uso industrial en los diferentes países.

El *Nanotech Report 2004* elaborado por la Lux Research analiza las inversiones y las estrategias en material de nanotecnología de más de 1 000 compañías. El informe calcula que en 2004 las inversiones en investigación y desarrollo se acercaron a 8 600 millones de dólares en todo el mundo (3 800 millones provendrían de fondos de las corporaciones y 4 800 de fondos gubernamentales). Pero advierte que 2004 podría ser el último año en que las inversiones públicas sobrepasen a las privadas, pues la industria

11. "Investigadores del Joint Centre for Bioethics de la Universidad de Toronto han clasificado estos países como 'primeros en la carrera' (China, Corea del Sur, la India) y jugadores de 'medio campo' (Tailandia, Filipinas, Sudáfrica, Brasil, Chile). Para completar, Argentina y México son 'recién llegados': aunque tienen grupos de investigación estudiando nanotecnología, sus gobiernos aún no han organizado fondos específicos" (SciDevNet, *Nanotechnology Quick Guide*, 2005 <www.scidev.net/quickguides/index.cfm?fuseaction=dossierfulltext&qguideid=5>. Consultado el 9 de febrero de 2005).

12. Inovação Tecnológica, "Nanotecnologia terá R\$ 77,7 milhões no orçamento 2004-2007", 2005 <www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010175031001>. Consultado el 13 de enero de 2005.

comienza a dar resultados comerciales y tenderá a acentuar la inversión en investigación y desarrollo.¹³

RIESGOS Y EFECTOS PERJUDICIALES

El primer llamado mundial de atención sobre los posibles efectos nocivos y resultados imprevistos de la nanotecnología se verificó en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sustentable celebrada en Sudáfrica en 2002. Fue realizado por el grupo ETC (Erosion, Technology and Concentration), que ganó publicidad con su propaganda mundial contra la introducción de transgénicos en la agricultura. El grupo proponía una moratoria a la investigación y manufactura de moléculas. En el Foro Mundial Global de Porto Alegre en 2003 lanzó su informe *The Big Down: Atomtech – Technologies Converging at the Nanoscale*, en el que fundamenta la solicitud de moratoria. La mayoría de los argumentos se refieren a los efectos posibles o probados en laboratorio de las nanopartículas en el medio ambiente y la salud. Pero otros críticos advierten los posibles efectos sobre el control social, las relaciones políticas, el orden jurídico, el papel de la sociedad en el control de la orientación científica y otros aspectos. En el cuadro se presenta un apretado resumen de las principales preocupaciones y críticas.

IMPLICACIONES ECONÓMICAS SOBRE PAÍSES, CLASES Y SECTORES SOCIALES

El informe de la Royal Society y la Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*, levanta dudas sobre las ventajas para los países pobres al señalar que los altos costos de desarrollo de nanotecnologías y de formación de personal calificado los pondrían en desventaja.

El informe *Nanotechnology and the Poor: Opportunities and Risks*, divulgado por el Meridian Institute en enero de 2005, muestra preocupación sobre la relación entre nanotecnología y desarrollo. Allí se advierten por lo menos dos cuestiones: a) el hecho histórico de que los resultados de las innovaciones tecnológicas han beneficiado de manera preferente a pequeñas minorías, y b) la nanotecnología puede hacer aun menos necesarias para los países desarrollados la demanda de trabajo y la importación de materias primas de los países en desarrollo.¹⁴

13. NanoxChange, *op. cit.*

14. Meridian Institute, *op. cit.*

PRINCIPALES PREOCUPACIONES Y CRÍTICAS DE LOS EFECTOS DE LA NANOTECNOLOGÍA

Receptores o afectados	Causa	Consecuencias posibles
La salud de seres vivos y tal vez de humanos	<ul style="list-style-type: none"> Inhalación, contacto directo, inyección, ingestión de nanopartículas 	<ul style="list-style-type: none"> Daño y modificación al ADN.¹ Absorción por las células e ingreso a la cadena alimentaria; toxicidad en pulmones y cerebro; paso de nanopartículas de madre a feto, y envenenamiento.²
El medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> Liberación de nanopartículas al medio Alta reactividad de la superficie de las nanopartículas utilizadas para descontaminar o diluir contaminantes Reproducción descontrolada de seres vivos creados para determinados fines Reproducción descontrolada de nanorrobots autorreproducibles 	<ul style="list-style-type: none"> Viaje a través de las cadenas tróficas.³ Alteración de procesos ecosistémicos, y efecto en seres vivos.¹ Plaga verde. Contaminación del ambiente por bacterias u otro tipo de seres vivos creados para cumplir funciones determinadas.⁴ Plaga gris. Contaminación del ambiente por nanorrobots autorreproducibles.⁵
Guerra	<ul style="list-style-type: none"> Armas autoejecutables Dispositivos genéticamente dirigidos 	<ul style="list-style-type: none"> Ataques realizados por decisión independiente de armas inteligentes.⁷ Ataques dirigidos a grupos étnicos, de edad, sexo, etcétera, con control biológico.⁶
Libertad individual	<ul style="list-style-type: none"> Medios complejos de acceso a información confidencial y control de movimientos, etcétera 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la población por medio de archivos médicos, sensores públicos, etcétera, con usos múltiples.⁸
Diferenciación social	<ul style="list-style-type: none"> Imposición de criterios médico-técnicos en el concepto de normalidad Desigualdad en el acceso a servicios médicos basados en nanotecnología 	<ul style="list-style-type: none"> Diferenciación basada en desigualdades físicas o en falta de prótesis e implantes.⁹ Diferenciación por poder adquisitivo para servicios biomédicos.¹⁰
Orientación de la ciencia y la tecnología	<ul style="list-style-type: none"> Fondos públicos para desarrollo de la nanotecnología sin ningún tipo de control público 	<ul style="list-style-type: none"> Posibles efectos imprevistos y decisiones erradas.¹¹
Relaciones comerciales y de consumo	<ul style="list-style-type: none"> Falta de una reglamentación específica 	<ul style="list-style-type: none"> Venta y consumo de productos con nanopartículas que no responden a controles toxicológicos adecuados.¹²
Dependencia de los pacientes respecto de empresas farmacéuticas	<ul style="list-style-type: none"> Introducción de nanopartículas en el organismo de los pacientes 	<ul style="list-style-type: none"> Dependencia de los laboratorios y empresas farmacéuticas para combatir, corregir o reponer nanopartículas que cumplan con irregularidad su función.¹³ Dependencia para realizar actividades que el cuerpo realizaba de manera normal.¹⁴

1. ETC Group, "Nanoparticles Shown to Cause Brain Damage", *Organic Consumers Association*, 1 de abril de 2004 <www.organicconsumers.org/foodsafety/nanobrain040504.cfm>. Consultado el 3 de marzo de 2005.

2. Townsend and Townsend and Crew, *Patent Trends in Nanotechnology*, septiembre de 2003 <<http://www.townsend.com/resource/publication.asp?o=6044>>. Consultado el 7 de abril de 2005.

3. ETC Group, *op. cit.*

4. ETC Group, *Green Goo: Nanobiotechnology Comes Alive*, ETC Group, Winnipeg, 2003 <www.etcgroup.org>. Consultado el 3 de enero de 2005.

5. E. Drexler, *Engines of Creation*, Anchor Books, 1986 <<http://www.foresight.org/EOC/Engines.pdf>>. Consultado el 3 de abril de 2005.

6. J. Altmann y M. Gubrud, "Anticipating Military Nanotechnology", *IEEE Technology and Society Magazine*, vol. 23, núm. 4, 2004, pp. 33-40.

7. J. Altmann y M. Gubrud, *op. cit.*, y G. C. Delgado Ramos, "Promesas y peligros de la nanotecnología", *Nómadas*, núm. 9, Universidad Complutense de Madrid, 2004 <<http://www.ucm.es/info/nomadas/9/>>. Consultado el 14 de febrero de 2005.

8. M. Mehta, "Privacy vs. Surveillance. How to Avoid a Nano-panoptic Future", *Canadian Chemical News*, noviembre-diciembre de 2002, pp. 31-33; D. Sarewitz y E. Woodhouse, "Small is Powerful", en *Living with the Genie*, Washington, Island Press, 2003, pp. 63-83, y M. Crow y D. Sarewitz, *Nanotechnology and Societal Transformation*, documento presentado en the National Science and Technology Council Workshop on Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology, 28 y 29 de septiembre de 2000.

9. G. Wolbring, "Science and Technology and the Triple D (Diseases, Disability, Defect)", en M. C. Roco y W. S. Bainbridge (comps.), *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, National Science Foundation, Arlington, 2002 <<http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/>>. Consultado el 14 de marzo de 2005.

10. G. Yonas y S.T. Picraux, "National Needs Drivers for Nanotechnology", en M. C. Roco y W. S. Bainbridge (comps.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, informe final del taller de la National Science Foundation, 28 y 29 de septiembre de 2000, 2001, pp. 37-44 <<http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/>>. Consultado el 14 de marzo de 2005.

11. J. Wilsdon y R. Willis, *See-through Science. Why Public Engagement Needs to Move Upstream*, DEMOS, Londres, 2004; M. Crow y D. Sarewitz, *Nanotechnology and Societal Transformation*, documento presentado en the National Science and Technology Council Workshop on Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology, 28 y 29 de septiembre de 2000; D. Guston y D. Sarewitz, "Real-time Technology Assessment", *Technology in Culture*, núm. 24, 2002, pp. 93-109, y The Royal Society y The Royal Academy of Engineering (RS y RAE), *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*, RS y RAE, Londres, 2004 <www.royalsoc.ac.uk/policy> y <www.raeng.org.uk>.

12. Woodrow Wilson International Center for Scholars, *Nanotechnology & Regulation. A Case Study Using the Toxic Substance Control Act (TSCA)*, 2003 <www.environmentalfutures.org/nanotech.htm>. Consultado el 12 de febrero de 2005, y M. Bennett, "Does Existing Law Fail to Address Nanotechnology?", *IEEE Technology and Society Magazine*, vol. 23, núm. 4, 2004, pp. 27-325.

13. G. Foladori y N. Invernizzi, "Cuando los gnomos vienen marchando", borrador, 2005 <www.doctoradoendesarrollo.net>.

14. D. Sarewitz y E. Woodhouse, *op. cit.*

Otras voces, por el contrario, desligan los potenciales beneficios técnicos de las relaciones sociales, y suponen que la nueva tecnología será benéfica para todos, incluidos los pobres. En este sentido, el reciente informe del Proyecto del Milenio de las Naciones Unidas (Task Force on Science, Technology and Innovation, *Innovation: Applying Knowledge in Development 2005*) considera que la nanotecnología es importante para el mundo en desarrollo porque implica poco trabajo, tierra y mantenimiento, es muy productiva y barata, y requiere cantidades modestas de materiales y energía.¹⁵ Sin embargo, estas mismas cualidades podrían ser calificadas como perjudiciales, una vez que los países pobres disponen de trabajo abundante y, en muchos casos, tierra y recursos naturales.

Un razonamiento técnico y lineal podría considerar que cualquier país está en condiciones de sumarse a la carrera de la nanotecnología. Un esfuerzo en la orientación de los fondos públicos crearía las bases para establecer industrias de nanocomponentes específicos, orientados a determinadas necesidades o a ramas con una tradición científica que justifique el salto tecnológico, con costos hasta cierto punto bajos. Las investigaciones en México, por ejemplo, se dirigen al desarrollo de nuevos materiales y nanodispositivos, así como a las propiedades de las nanopartículas.¹⁶ Japón es fuerte en nanoelectroptica. Israel se especializa en nanocomponentes para la industria militar. La posibilidad de medir y observar propiedades y procesos a nanoescala mediante microscopios complejos (Scanning Tunneling Microscopy, STM; Atomic Force Microscope, AFM, y Transmission Electron Microscopy, TEM) no requiere mayores inversiones. Un microscopio de tunelación puede tener un precio de entre 30 000 y 150 000 dólares con tendencia a abaratare con rapidez.

El problema no lo representan tanto los costos fijos de un laboratorio más o menos complejo, sino el entorno social necesario para que esta tecnología se incorpore a la economía. Sin ligeros mecanismos de integración vertical entre los sectores productores de nanopartículas y las empresas como potenciales compradores, las nanopartículas no saldrán del laboratorio. Esto parece ocurrir en la actualidad. Wildson, a partir de entrevistas realizadas en empresas inglesas productoras de nanopartículas, señala que “las nanopartículas son una solución en busca de un problema”.¹⁷ A pesar de sus variadas aplicaciones potenciales, los productores ingleses

dicen carecer de clientes. Esto lo confirma un informe publicado en *Business Week* en el que, con base en información de Lux Research, se señala que a pesar de un futuro promisorio muchas empresas que venden productos nanotecnológicos tuvieron problemas financieros en 2004.¹⁸

Otra dificultad radica en la calificación del trabajo. Una carrera tecnológica requiere de un entorno social que suministre el equipo necesario en el largo plazo. Será difícil para muchos países pequeños y pobres reunir el personal necesario para trabajar de manera interdisciplinaria en nanotecnología. México, por ejemplo, una economía que es la décimo tercera potencia exportadora del mundo, sólo tiene 90 investigadores en 11 grupos de investigación en tres universidades y dos centros de investigación, y ningún programa oficial de apoyo a la investigación en el campo.¹⁹ Brasil, pionero con su programa de investigación y desarrollo en nanotecnología en el año 2000 —el mismo que Estados Unidos—, tiene entre 50 y 100 investigadores.²⁰ Algunos prevén que la nanotecnología implicará la reestructuración de toda la enseñanza a fin de quebrar las tradicionales fronteras disciplinarias que, en la práctica, la nanotecnología ya rebasó. Es posible que los planes de estudio deban cambiarse desde la educación primaria.²¹ Esto significa que esfuerzos multisectoriales apuestan a estos cambios, y que se requieren mayores demandas sociales. Al respecto, uno de los argumentos que se esgrimen para justificar la fuerte irrupción de China en la carrera de la nanotecnología es que cuenta con gran número de científicos a bajos costos. Pero es posible que se acentúe aún más el traslado de científicos calificados del Tercer Mundo hacia los países más avanzados. Esta polarización del mercado laboral castigará de manera decisiva a los países más pobres y con menos calificación laboral. Es difícil que la inmensa mayoría de los países en desarrollo goce de las condiciones financieras, de infraestructura y humanas para poder incorporarse a la ola nanotecnológica. Aunque en ellos hay expectativas en las posibilidades de ponerse al día puesto que se

15. SciDevNet, *op. cit.*

16. I. Malsch, *Nanotechnology in Mexico* <www.nanoTsunami.com>. Consultado el 3 de abril de 2005.

17. J. Wildson, “Nanotechnology, Risk, and Uncertainty”, *IEEE Technology and Society Magazine*, vol. 23, núm. 4, 2004, pp. 16-21.

18. “Un estudio de Lux Research en 2004 encontró que muchas de las 200 suministradoras mundiales de nanomateriales básicos no consiguieron entregar lo que prometieron” (Baker y Aston, *op. cit.*).

19. I. Malsch, *op. cit.*

20. L. Knapp, “Brasil ganha centro de pesquisa de nanotecnologia”, *O Estado de São Paulo*, 20 de enero de 2002 <busca.estadao.com.br/ciencia/noticias/2002/jan/20/138.htm>. Consultado el 4 de abril de 2005.

21. “La National Science Foundation [de Estados Unidos] prevé una revolución en la educación científica desde las escuelas de primer grado hasta los niveles de posgrado, un cambio sistémico que reconozca la convergencia de la investigación en física, química, biología, ciencia de materiales e ingeniería” (C. L. Alpert, *Introducing Nanotechnology to Public and School Audiences*, NSTI. Nano Science and Technology Institute, 2004 <www.nsti.org/Nanotech2004/showabstract.html?absno=581>. Consultado el 3 de abril de 2005).



trata de un área nueva donde no pesan decenios de desfase en las trayectorias científico-tecnológicas, las áreas en que éstos serán capaces de disputar con los grandes productores serán aún más limitadas.

Cuándo los productos “tradicionales” podrán competir con productos semejantes que incorporan tecnología nano es un asunto que dependerá de los costos relativos y de las diferencias de eficacia, pero la competencia puede implicar una agudización de la desigualdad mundial. En efecto, las grandes corporaciones también podrán resentir los nuevos patrones competitivos impulsados por el cambio tecnológico. En un análisis preparado para el Credit Suisse First Boston, titulado *Big Money in Thinking Small* (Mauboussim & Bartholdson), se lee: “Pensamos que debido al arribo de la nanotecnología nuevas compañías van a desplazar a un alto porcentaje de las líderes actuales. La mayor parte de las compañías en el índice industrial Dow Jones de hoy en día difícilmente estarán allí dentro de 20 años”.²²

Se debe considerar también la competencia de la nanotecnología con regiones que basan su éxito económico en la productividad derivada de ventajas naturales. En este sentido sirve de ejemplo la revolución de la microelectrónica, la informática y los satélites. Estas tecnologías permitieron

suprimir muchos de los costos derivados de las desventajas naturales de localización. El costo de transmitir un mensaje telefónico por el antiguo mecanismo de los cables de cobre aumentaba con la distancia, según la extensión de la línea telefónica. El costo de transmitir un mensaje telefónico celular vía satélite es independiente de la distancia. En este sentido, se puede decir que la aplicación del satélite a las telecomunicaciones suprimió muchas de las barreras de distancia naturales y, con ello, la riqueza (renta del suelo) apropiada como consecuencia de dichas ventajas naturales.

Puede trazarse un paralelismo con la nanotecnología. La revolución de ésta, en la medida de su actual alcance (como nanopartículas que hacen al producto final más sensible al entorno, capaz de transformarlo a sus necesidades, capaz de utilizar elementos de éste de forma novedosa o más eficiente que otras tecnologías), permite suprimir muchos de los costos derivados de las desventajas naturales de fertilidad cuando se aplica, por ejemplo, a la producción agropecuaria. Nanosensores agrícolas podrán hacer que explotaciones de áreas menos húmedas o menos fértiles compitan de modo ventajoso con las más fértiles. Si en efecto la nanotecnología redujera la demanda industrial de materias primas, disminuiría la renta diferencial que muchos países en desarrollo obtienen de las exportaciones de minerales, hidrocarburos, frutas, carne, madera, fibras textiles, etcétera. En definitiva, la revolución de la nanotecnología constituye un avance del control de la naturaleza por el ser humano que reduce las diferencias na-

22. Center for Responsible Nanotechnology, *Dangers of Molecular Manufacturing* <www.crnano.org/dangers.htm>. Consultado el 24 de febrero de 2005.

turales en los procesos productivos y los hace depender más de las diferencias de riqueza acumulada. Esto podrá tener efectos devastadores sobre muchas economías mundiales. Como lo señaló el director del grupo ETC, Pat Mooney, el mundo desarrollado podría crear su propio abastecimiento de materias primas, con enormes implicaciones para las industrias y la agricultura de los países pobres.²³ Póngase por ejemplo hipotético. Supongamos que se sustituye el acero por nanotubos de carbono. ¿Qué efectos tendría esto? Brasil exportó en 2004 un millón de toneladas de acero, lo que representó más de 18% de sus exportaciones y un monto de 334 millones de dólares. Si la sustitución de nanotubos se hiciera teniendo en cuenta sólo la resistencia del material, el millón de toneladas sería sustituido por nanotubos y reducidas las exportaciones entre 50 y 100 veces, de modo que Brasil pasaría a exportar de 10 000 a 20 000 toneladas, y a recibir de 3.3 a 6.7 millones de dólares.

Esta agudización de la desigualdad mundial no debe entenderse sólo en el ámbito de los países sino también de la población. Es posible que determinados países despunten con la venta de nanomateriales o productos que los incorporan. Se habla, por ejemplo, de China como posible gran competidor en nanotextiles. Pero que el país como unidad resulte beneficiado no significa que en su interior no se agudice la diferenciación social como resultado del desplazamiento de las empresas que no consiguen adaptarse a los cambios, la reducción del empleo manual y el aumento del estrecho sector de los trabajadores de alta calificación y personal científico-técnico.

Por último, no es menospreciable el argumento político de que poco contribuirá la nanotecnología a una mejor distribución de la riqueza en virtud de que la punta de lanza de esta revolución son las grandes corporaciones transnacionales.²⁴ El informe *The CEO's Nanotechnology Playbook*, realizado por Lux Research, que contiene los resultados de entrevistas a ejecutivos de 33 corporaciones transnacionales, demuestra con claridad el perfil de las empresas que están invirtiendo con gran vigor en nanotecnología. Las empresas consultadas alcanzan más de 5 000 millones de dólares en retornos anuales, ventas medias de 30 000 millones el año anterior, emplean una media de 46 000 personas en diversas ramas (manufactura, materiales, electrónica, salud y

ciencias de la vida) y se localizan en América del Norte, Asia y Europa. Además de sus inversiones en ascenso, cada vez más estas empresas establecen asociaciones con los sectores públicos, universidades y otros agentes.²⁵

En el entorno competitivo actual no se puede esperar que los resultados de la nanotecnología se conviertan en mercancías de libre acceso. Ya se trabó una lucha fuerte por las patentes de productos que incluyen nanopartículas, lucha que encierra una paradoja interesante. Por tratarse de partículas elementales (átomos y moléculas), que bien pueden considerarse parte de la naturaleza, los productos nanotecnológicos podrían no ser objeto de patente. Sin embargo, se argumenta que lo son, puesto que las nanopartículas no se hallan en tal estado en la naturaleza. La siguiente cita muestra esa paradoja: “Es verdad que no se puede patentar un elemento encontrado en su forma natural; sin embargo, si se crea una forma purificada de ese elemento que tenga usos industriales —por ejemplo, el neón—, tenemos una patente segura”.²⁶ La patente es la garantía de ganancias monopólicas durante 20 años, algo que en efecto conspira contra la rápida difusión de los potenciales beneficios de esta tecnología. El número de patentes de productos que incluyen nanotecnología aumentó en Estados Unidos en más de 600% de 1997 a 2002. A las corporaciones corresponde 90% de estas patentes, 7% a universidades y 3% a agencias o centros de investigación gubernamentales.²⁷

Si el imperialismo clásico se caracterizó por la apropiación violenta y política de las riquezas naturales de países más atrasados por parte de las naciones capitalistas más pujantes, las revoluciones tecnológicas de fines del siglo XX, como la biotecnología, la optomicroelectrónica, los satélites y ahora la nanotecnología, tienden a convertir en superfluas las ventajas de los países que disputan su lugar en la división internacional del trabajo con base en la exportación de riquezas naturales o mano de obra barata. Es claro que se trata de un proceso competitivo en que los costos relativos de incorporar nanoproduitos determinarán el grado y la velocidad de la ruina de aquellos últimos. Pero, por la lógica de las leyes del mercado, es probable que la nanotecnología traiga consigo una profundización de la desigualdad mundial. ◀CE

23. K. Mantell, “Developing Nations Must Wise Up to Nanotechnology”, *SciDev.Net*, 4 de septiembre de 2003 <www.scidev.net/News/index.cfm?fuseaction=readNews&itemid=992&language=1>. Consultado el 12 de febrero de 2005.

24. ETC Group, *Communiqué*, núm. 85, 2004 <www.etcgroup.com>. Consultado el 3 de enero de 2005.

25. Azonano, *Nanotechnology News. Global Corporations are Investing Heavily in Nanotechnology*, 2005 <www.azonano.com/news.asp?newsID=468>. Consultado el 12 de febrero de 2005.

26. Lila Feisee, Directora de Relaciones Gubernamentales y Propiedad Intelectual de BIO, Biotechnology Industry Organization, citado por ETC Group, *op. cit.*

27. Townsend and Townsend and Crew, *Patent Trends in Nanotechnology*, septiembre de 2003 <www.townsend.com/resource/publication.asp?o=6044>. Consultado el 7 de abril de 2005.

export@net ▶▶

La Diferencia entre querer exportar y hacerlo

Exportanet te proporciona en línea información oportuna y confiable sobre compradores en el exterior.

Bancomext pone a tu servicio la red de oficinas en el mundo para buscar clientes para tu producto.

Aquí encontrarás información sobre:

- Más de 20,000 importadores extranjeros
- Más de 5,000 nombres de empresas interesadas en importar productos mexicanos

A través de Exportanet, puedes promover tu producto entre miles de compradores en el extranjero.

Visita hoy Exportanet y haz el negocio de tu vida.

SUSCRÍBETE. Llama a EXPORTATEL:
01800 EXPORTA (01800 397 6782)
o en bancomext.com

Bancomext evoluciona, se perfecciona y trabaja por y para México.



BANCOMEXT
TE AYUDA