

Ciencia Ergo Sum

Universidad Autónoma del Estado de México

ergo\_sum@uaemex.mx

ISSN (Versión impresa): 1405-0269

MÉXICO

2005

Noela Invernizzi / Guillermo Foladori

EL DESPEGUE DE LAS NANOTECNOLOGÍAS

*Ciencia Ergo Sum*, noviembre-febrero, año/vol. 12, número 003

Universidad Autónoma del Estado de México

Toluca, México

pp. 321-327



Recepción: 18 de abril de 2005

Aceptación: 7 de septiembre de 2005

\*Universidad Autónoma de Zacatecas.

Correo electrónico:

noela @estudiosdeldesarrollo.net

\*\* Universidad Autónoma de Zacatecas.

Teléfono: (492) 923-9407 ext. 2778.

Correo electrónico:

foia@estudiosdeldesarrollo.net

Agradecemos a los lectores anónimos los comentarios y sugerencias.

# El despegue de las nanotecnologías

Noela Invernizzi\* y Guillermo Foladori\*\*

**Resumen.** La nanotecnología es presentada como la próxima revolución tecnológica. Sus voceros la consideran la solución para los principales problemas mundiales. Pero consecuencias imprevistas pueden afectar la salud, el medio, la privacidad individual, la economía y la organización social. Este artículo explica en qué consiste la nanotecnología y analiza algunos impactos y riesgos en la salud, el ambiente y la economía.

**Palabras clave:** nanotecnología, nanociencia, riesgos.

## The Take-off Nanotechnologies

**Abstract.** This paper presents nanotechnology as the next technological revolution. Their supporters consider it the solution for the main world problems. Nevertheless, unexpected consequences could damage health, the environment, individual privacy, economy, and social organization. This work illustrates what nanotechnology is, and analyzes its impact on health, economy and the environment.

**Key words:** nanotechnology, nanoscience, risks.

**N**anotecnología es todavía una palabra desconocida para la mayoría de la población. Sin embargo, todo indica que se trata de la próxima revolución tecnológica y que ya despegó. Sus productos representan uno de los mercados de mayor crecimiento. Se calcula que la venta mundial de nanoprodutos superará los 500 mil millones de dólares en el 2010 (Baker y Aston, 2005), cifra superior al total de las exportaciones de América Latina y el Caribe en 2004 (CEPAL, 2004).

Las inversiones públicas y privadas destinadas a investigación y desarrollo en nanociencia y nanotecnología han venido aumentando significativamente en los últimos años, y con ellas crece el entusiasmo sobre las potencialidades de esta nueva tecnología. Sin embar-

go, comienzan también a manifestarse preocupaciones sobre los riesgos e implicaciones sociales que un cambio tecnológico tan radical podría traer consigo. En la primera sección de este artículo presentamos las características de la nanotecnología para luego, en la segunda sección, analizar algunas evidencias sobre posibles riesgos, impactos socioeconómicos e implicaciones éticas.

## 1. Nanotecnología: la manipulación de átomos y moléculas

La nanotecnología es la manipulación de materiales a escala atómica o molecular. Las nanotecnologías (que existen en diversos campos) trabajan con materiales que van del rango de 1 a 100

**Las nanociencias estudian las propiedades de los átomos y moléculas, mientras las nanotecnologías diseñan, conforman, sintetizan materiales a través del control de la materia en nanoescala para construir partículas (nanopartículas) que tengan determinadas utilidades.**

nanómetros. Un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro, o la millonésima parte de un milímetro. Un cabello humano, por ejemplo, puede tener 100,000 nanómetros de grosor. Un virus tiene entre 20 y 300 nanómetros. Las partículas en esta escala sólo pueden ser observadas mediante microscopios atómicos.<sup>1</sup>

Richard Feynman (premio Nobel de Física en 1965) fue quien sugirió por primera vez, en 1959, la posibilidad de construir materiales y dispositivos a escala atómica y molecular. En 1981 Gerd Binnig y Heinrich Rohrer inventaron el Scanning Tunnel Microscope (STM) que permite ver la imagen de los átomos; por ello recibieron el Premio Nobel de Física en 1986, junto con Ernst Rusaka, quien contribuyó a su mejora. Este instrumento constituyó un punto de inflexión en la investigación y manipulación de átomos.

En 1984, Richard Smalley, Robert Curl y Harold Kroto descubrieron la existencia de un tipo de molécula de carbono hasta entonces desconocida (sólo se conocían tres tipos: diamante, grafito y amorfo). Esta molécula, que llamaron fullenero (*buckyball*), se compone de 60 átomos de carbón, y tiene la forma de una pelota de fútbol. Este descubrimiento –que les valió el Premio Nobel de Química de 1996– fue esencial para el desarrollo de la nanotecnología al mostrar las propiedades de los fullerenos, como la de ser superconductivos, altamente estables, capaces de soportar altas temperaturas y presión. Otro aspecto intrigante es la capacidad de los átomos de carbono de esta molécula de reaccionar con otros átomos y moléculas manteniendo su estructura y forma estable. Los investigadores vieron en ello la posibilidad de formar moléculas que pudieran ser adheridas a los fullerenos para diversos propósitos. Posteriormente, en 1991, Sumio Iijima descubrió los nanotubos de carbono, que consiguió reproducir artificialmente en 1993; y que también presentan propiedades novedosas asociadas a su escala. Al cambiar su diámetro, por ejemplo, cambia su conductividad eléctrica, de manera que pueden comportarse como

1. Existen muchas fuentes de información de libre acceso sobre nanotecnología en la web. Entre ellas puede consultarse el Instituto Foresight (<http://www.foresight.org/>), el grupo ETC (<http://www.etcgroup.org/>), la National Nanotechnology Initiative (<http://www.nano.gov/>) de Estados Unidos y el Center for Responsible Nanotechnology (<http://www.crnano.org/>).

metal, como semiconductor o como superconductor. Actualmente la investigación en nanotubos de carbono es una de las más prometedoras (Ikezawa, 2001).

Entre los pioneros de la nanotecnología no puede dejar de mencionarse a Eric Drexler, quien en 1986 publica *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. En este libro se desarrolla la idea de

máquinas moleculares. Basado en los avances de la ingeniería molecular, Drexler plantea la posibilidad de que robots realicen sus tareas como lo hace el ADN al sintetizar proteínas y sean capaces de desarrollar funciones específicas. Esto provocó una revolución en la filosofía de los procesos de elaboración al sugerirse la posibilidad de fabricar de lo pequeño a lo grande, manipulando átomos y moléculas sin dejar residuos.

Las nanociencias estudian las propiedades de los átomos y moléculas, mientras las nanotecnologías diseñan, conforman, sintetizan materiales a través del control de la materia en nanoescala para construir partículas (nanopartículas) que tengan determinadas utilidades. Así como una computadora convierte la información en códigos binarios simples, 0 y 1, para luego reorganizar esa información en diversas combinaciones y, de forma similar, la ingeniería genética trabaja recombinando la información genética contenida en los códigos básicos del ADN–ACGT–, la nanotecnología parte de los elementos básicos de la construcción molecular que son los átomos y, manipulándolos, hace posible la fabricación y reproducción de cualquier sustancia.

En lo que va de la evolución humana hemos estado acostumbrados a dividir lo grande para construir lo pequeño. Se saca la madera de un árbol para hacer una silla; se perfora un cerro para obtener el hierro necesario que construya una herramienta de acero. En ambos casos, hubo que mover una inmensa cantidad de materiales para obtener algo comparativamente muy pequeño, lo que generó bastante desperdicio e impactos ambientales. Ahora la nanotecnología se propone el camino inverso: juntar átomos para formar objetos mayores. En lugar de ir de lo grande a lo pequeño (proceso *top-down*), se va de lo pequeño a lo grande (proceso *bottom-up*). En tesis, no habría desperdicio.

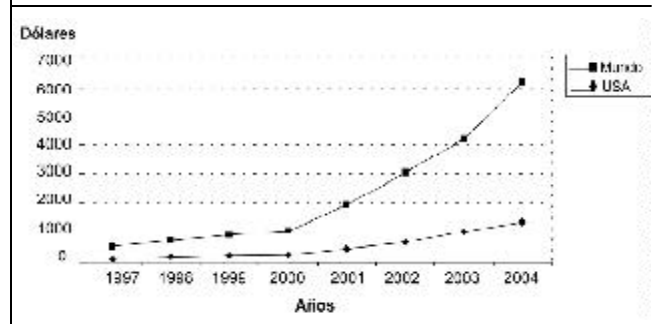
¿Cuáles son las ventajas de un cambio tan radical? La principal que está siendo explorada por la nanotecnología es que los materiales presentan, en nanoescala, propiedades físicas diferentes de las que tienen en el tamaño con que aparecen normalmente en la naturaleza. Un mismo material, como el carbono (el grafito de los lápices de escribir), manipulado molécula a molécula, puede llegar a ser más duro que un diamante pero pesar varias veces menos que el acero. Puede, además, tener una conductividad eléctrica prácti-

camente perfecta en el sentido de que la transmisión de la electricidad puede no sufrir debilitamiento con la distancia. Otros materiales pueden presentar propiedades magnéticas, ópticas, reactivas, etcétera, diferentes de las conocidas en los tamaños que normalmente son manipulados por la industria. Para los científicos que se dedican a estas investigaciones se ha abierto un mundo totalmente nuevo y fascinante, en el que hay que ir descubriendo cómo se comportan los materiales. Para las empresas esto significa la posibilidad de lanzar al mercado productos con características totalmente novedosas y convertir los productos que tradicionalmente cumplían funciones semejantes en algo de la prehistoria. Veamos un ejemplo real. Los vidrios que hoy utilizamos se ensucian y necesitamos limpiarlos frecuentemente para que mantengan su transparencia. También se llenan de gotas cuando llueve, y por eso los automóviles requieren limpiaparabrisas. Pero ya existen los vidrios autolimpiantes, que son cubiertos con una capa de nanopartículas de óxido de titanio (que, por supuesto, son tan pequeñas que no se ven ni alteran la transparencia). Estas nanopartículas reaccionan con la luz solar y desintegran las partículas de polvo. Las mismas nanopartículas no permiten que las gotas de agua se individualicen, las agrupan de manera que se escurran rápidamente. Cuando, en algunos años puedan llegar a producirse vidrios con estas propiedades en escala industrial, tenderán, evidentemente, a reemplazar a los anteriores vidrios. Ello traerá aparejado el surgimiento de empresas nuevas y el quiebre de las que no consigan adaptarse al cambio, con los consecuentes desplazamientos de obreros, aumento de desempleo, problemas económicos para los países exportadores e importadores y disrupciones sociales imprevisibles en toda su extensión.

Ya se encuentran en el mercado muchos productos que contienen nanopartículas. Según el *Nanotech Report*, entre los primeros comercializados en 2004 se encuentran: calzado térmico que mantiene la temperatura constante independientemente de la exterior (Aspen Aeogels), colchones que repelen sudor y polvo (Simmons Bedding Co.), palos de golf más resistentes y flexibles (Maruman & Co.), cosméticos personales ajustados a edad, raza, sexo, tipo de piel y actividad física (Bionova), vestidos para heridos y quemados que evitan las infecciones (Westaim Corporation), desinfectantes y limpiadores que se aplican a aviones, barcos, submarinos, etc. (EnviroSystems), spray que repele agua y suciedad, utilizado en la industria de la construcción (BASF), tratamiento a los vidrios para repeler el agua, la nieve, insectos, etc. (Nanofilm), crema contra el dolor muscular (CNBC) y adhesivos dentales que fijan mejor las coronas (3M ESPE) (Forbes, 2004).

Aunque algunas propiedades de los elementos y compuestos en nanoescala ya eran conocidas por la industria química, la posibilidad de *manipular directamente* los átomos y las moléculas

**Gráfica 1.** Fondos públicos destinados a investigación y desarrollo en nanotecnología (millones de dólares anuales).



Fuente: Elaboración propia con datos de Roco, 2003; Lux Research, 2004; Mantovani, 2004.

permite explotarlas en diversas innovaciones. Ello se hace a través de microscopios de tunelación atómica o cuánticos. Estos microscopios disponen que una punta tan afilada que su extremo está compuesto por un solo átomo. Por ella fluye una débil corriente eléctrica. Esta punta se aproxima a una distancia inferior a un nanómetro al material conductor en estudio, con el que mantiene una diferencia de potencial de un voltio. Como la punta y el material son conductores, debido a un efecto físico llamado efecto túnel, circula electricidad en el vacío que hay entre ambos. En función de las diferencias de corriente, cuando la punta recorre la muestra, un *software* conectado al sistema va diseñando la imagen de su superficie y de cómo están dispuestas las moléculas. Modulando el voltaje que llega a la punta, estos microscopios permiten no sólo ver átomos y observar en tiempo real los procesos físicos, sino mover y manipular los átomos, colocarlos en nuevas posiciones. El microscopio de fuerza atómica es aún más versátil. En lugar de utilizar la diferencia de potencial, está en contacto directo con el material y detecta los efectos de las fuerzas atómicas, lo que permite observar y manipular también muestras no conductoras, como las biológicas.

Aunque las técnicas disponibles ya permiten fabricar diversas nanopartículas y adicionarlas a productos fabricados de forma convencional, aún no es posible fabricar, mediante procedimientos *bottom-up*, productos o instrumentos en escala humana. ¡Ello consumiría un tiempo enorme! La construcción de nanomáquinas mediante manipulación de átomos que sean capaces de construir otros componentes moleculares es, de hecho, el programa más ambicioso y controversial de la nanotecnología. Si la tecnología se desarrolla en esta dirección, la fabricación molecular será la primera tecnología de fabricación para todo propósito—una máquina podrá fabricar virtualmente cualquier producto, incluyendo nuevas máquinas—y desencadenará, sin duda, una revolución industrial tan radical como aquella que introdujo las primeras máquinas (Wilkes, 2005: 37).

Si una característica de la nanotecnología es aprovechar los cambios en las propiedades de los materiales que ocurren en esa escala diminuta, otra es que, en esa escala, se borran las fronteras entre lo vivo y lo no vivo. Esto se debe a que los organismos vivos también están compuestos por átomos, y en ese nivel no existe distinción entre átomos vivos y átomos no vivos, son todos átomos por igual. Ello abre la posibilidad de combinar nanopartículas inanimadas con organismos vivos, o utilizar elementos vivos para usos artificiales, lo que origina organismos híbridos –siempre que el organismo acepte las nanopartículas y no las rechace–. Científicos dedicados a la nanobiotecnología o biología sintética están avanzando más rápido de lo que se pensaba en la experimentación con organismos híbridos y máquinas biológicas que puedan, tal vez, ser utilizadas para fabricar nanopartículas. Así por ejemplo, el ingeniero Carlo Montemagno elaboró un pequeño dispositivo hecho de células de ratones y silicio. Cubierto por un tejido muscular, este pequeño robot puede moverse. Montemagno describe su obra como “completamente viva [...] las células crecen, se multiplican y se ensamblan, formando ellas mismas estructuras” (*Nanotechnology Now*, 2003). Químicos de la Universidad de Nueva York, por su parte, hicieron un robot de ADN que también es capaz de moverse. Los investigadores esperan lograr en el futuro que las células fabriquen robots a partir del ADN que sean capaces de ensamblar otros nanodispositivos para avanzar hacia la fabricación en nanoescala (ETC, 2005: 34-35).

**Si una característica de la nanotecnología es aprovechar los cambios en las propiedades de los materiales que ocurren en esa escala diminuta, otra es que, en esa escala, se borran las fronteras entre lo vivo y lo no vivo.**

## 2. Implicaciones y riesgos

Esta revolución tecnológica viene incubándose desde hace 20 años, pero su despegue es reciente. Los fondos públicos para financiar la investigación y desarrollo en nanotecnología en Estados Unidos y muchos otros países crecieron sustancialmente a partir del año 2000 (véase la gráfica 1).

En América Latina, Brasil fue pionero al lanzar su programa nacional de nanotecnología en el 2000, el mismo año que lo hizo Estados Unidos. Pero las inversiones federales brasileñas de 27 millones de dólares para cuatro años (2004-2007) no se comparan con la de los países desarrollados. Sólo en 2004, Estados Unidos invirtió 1.4 mil millones de dólares de fondos públicos, Europa 1.1 mil millones de dólares en 2003, Japón 800 millones en 2003 (Lux Research, 2004; SBPC, 2002). México no tiene un programa nacional, aunque existen 11 grupos de investigación en

nanotecnologías en tres universidades y dos institutos de investigación. Se edita una revista especializada (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla) y hay varios posgrados en el tema (Malsch, 2004).

Es posible que estas tecnologías se impongan en pocas décadas, con drásticas transformaciones en la economía mundial. Los países y empresas que no logren incorporarse podrán ser marginados. Viejas empresas y tecnologías quedarán obsoletas. Es posible que se sustituyan recursos naturales por nanoproductos, con lo cual la estructura comercial internacional se rediseñará. De allí

que muchos países ya estén impulsando decididamente aquellas ramas de investigación y desarrollo en nanotecnologías que consideran más viables según su estructura económica y científica.

Con atraso, y en escala reducida, está investigándose los posibles riesgos de la nanotecnología en la salud, en el medio, en la seguridad pública, en la legislación y en la distribución de la riqueza. Las enseñanzas de los transgénicos están aún frescas y deben servir de actitud precautoria. En los años ochenta, los organismos genéticamente modificados fueron promovidos como una alternativa a los químicos en la

agricultura y como una solución al hambre en África. Nada de eso ocurrió. Aun cuando al comienzo aumentaron los rendimientos, luego se constató que los residuos de algunas de sus variedades, como el maíz Bt, eran tóxicos y contaminaban el suelo y el agua. Algunas de las plagas que los organismos genéticamente modificados (OGM) evitaban se volvieron más resistentes, y algunas variedades invadieron áreas geográficas no pretendidas, como en el difundido caso de Oaxaca. Hoy en día los agricultores estadounidenses pierden millones de dólares porque muchos mercados les cierran las puertas. Lo que era una panacea se volvió en su contra. Entre tanto, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos sólo destinó 1% de sus recursos de investigación en OGM en los años noventa a los posibles riesgos (Schapiro, 2003). Esta experiencia sirve para alertar a tomar medidas tempranas en la investigación de los riesgos de la nanotecnología.

Sus impactos y riesgos pueden ir desde daños concretos a la salud o el ambiente hasta los más profundos cuestionamientos éticos por las posibilidades de hibridación de seres vivos –incluidos los humanos– con dispositivos nanotecnológicos. Ya existen algunos estudios que permiten identificar riesgos o impactos importantes; se relacionan directamente a cuatro características específicas de las nanotecnologías.

La primera característica es la *escala*. Las nanopartículas son tan pequeñas que si escapan a la atmósfera pueden penetrar la piel, pueden ser fácilmente inhaladas, pueden atravesar la barrera de sangre del cerebro. Las consecuencias son imprevisibles, en parte porque no existe un tipo, sino muchos tipos de nanopartículas que pueden tener efectos diversos; en parte porque no hay instrumentos ni medidas

que permitan evaluar, por ejemplo, la toxicidad. También porque al desarrollar propiedades físicas y químicas nuevas, las nanopartículas bien pueden generar toxicidades desconocidas. La doctora Eva Oberdörster expuso nueve robalos a agua contaminada de moléculas de nanocarbono (*buckyballs*) en un porcentaje de 500 partes por mil millones, que es el nivel comparable con los contaminantes que existen en los puertos. Después de 48 horas los peces tuvieron daños cerebrales y se detectaron biomarcadores en el hígado. Esto significa que las nanopartículas de carbono penetraron la barrera del cerebro de los peces pero, además, que el organismo como un todo las detectó e inflamó el hígado. En otra investigación la misma científica descubrió que la mitad de las pulgas de agua sometidas a nanomoléculas de carbono morían, lo cual desestabilizaba toda la cadena trófica. En 1997 investigadores de las universidades de Oxford y de Montreal descubrieron que las nanopartículas de dióxido de titanio y óxido de zinc que se utilizan en filtros solares que ya están a la venta, promueven los radicales libres en las células de la piel y dañan el ADN. El grupo ETC reúne en un artículo estos y otros riesgos probados (ETC, 2004).

La segunda característica es que a escala nano, la *materia viva y no viva se confunden*. Dada esta indiferenciación entre lo biótico y lo abiótico, los nanobiotecnólogos son entusiastas de la hibridación de implantes, sensores y distribuidores de drogas para uso humano, pero algunos efectos adversos ya fueron detectados en laboratorio. En 2004, el doctor Vyvyan Howard informó que las nanopartículas de oro pueden moverse a través de la placenta, de la madre al feto (ETC, 2004). En el mismo año, científicos en la Universidad de California en San Diego descubrieron que "las nanopartículas de selenide de cadmio (puntos cuánticos) pueden irrumpir en el cuerpo humano ocasionando envenenamiento potencial" (ETC, 2004). Pueden surgir efectos imprevistos de largo plazo. Por cierto, la posibilidad de implantar seres humanos con dispositivos que les ayuden a aumentar la memoria, vencer el cansancio, etc. también suscita muchas preguntas en el terreno ético: ¿puede ello conducir a diferenciar radicalmente algunos sectores de la sociedad con acceso a esos dispositivos del

**Las nanopartículas son tan pequeñas que si escapan a la atmósfera pueden penetrar la piel, pueden ser fácilmente inhaladas, pueden atravesar la barrera de sangre del cerebro. Las consecuencias son imprevisibles [...] en parte porque no hay instrumentos ni medidas que permitan evaluar, por ejemplo, la toxicidad.**

resto? ¿No cambiaría la propia condición humana? Además está el problema, ya planteado por quien dio el nombre a la nanotecnología, Drexler, de que nanorobots autorreplicables formados de manera híbrida entre componentes vivos y no vivos podrían inundar el planeta como una plaga gris (Drexler, 1986).

Las nanopartículas presentan otra cualidad, tener *diferentes propiedades físicas* que los mismos materiales en tamaño mayor. Esto, que es definitivamente el beneficio de las nanotecnologías, puede convertir las en una tecnología con efectos disruptivos para muchas economías y también para la estructura social. Armas autoejecutables que realicen ataques por decisión independiente o dispositivos genéticamente dirigidos por control biológico contra determinados grupos étnicos son teóricamente viables con la nanotecnología, lo cual no deja de ser preocupante (Altmann y Gubrud, 2004). Las innovaciones nanotecnológicas en los campos de la computación y la filmación podrían ser utilizadas en sensores públicos para establecer un control semejante a un panóptico colectivo (Mehta, 2002), o podría ser usada información personalizada por compañías de seguro con propósitos discriminatorios (Mehta, 2002; Sarewitz y Woodhouse, 2003; Crow y Sarewitz, 2000). También están las implicaciones que estas nuevas tecnologías puedan tener en la competitividad entre empresas, ramas de la producción y entre países. Mientras algunos sostienen que las nanotecnologías podrían tener un efecto positivo en el combate a la pobreza (Courtet *et al.* 2004; Salamanca-Buentello *et al.* 2005), otros plantean dudas y sugieren que podrían profundizar las disparidades sociales (RS&RAE, 2004).

Por último, está la cuestión de la *interdisciplinariedad* que la nanotecnología requiere. La constitución de la materia, su fundamentación atómica y molecular, es común a todas las ciencias. Cuando un biólogo o un químico analizan las bases del funcionamiento último de la reproducción de un ser vivo o de una reacción catalítica, por ejemplo, se encuentran con entidades de tamaño nanométrico y regidas por las mismas leyes físicas. También son nanotecnología la síntesis con precisión nanométrica de catalizadores o moléculas para usos diversos, la capacidad de modificar un fragmento de una cadena de ADN, o la síntesis de un



material magnético nanoestructurado para ser usado como marcador tumoral. En esta escala, todas las disciplinas convergen, sólo es diferente la perspectiva o el punto de partida. Esta particularidad hace de la nanotecnología una ciencia multidisciplinar donde se entremezclan los modos de hablar particulares y las técnicas de aproximación para entender la materia inerte o viva. La convergencia de campos científicos que está en la base de esta revolución tecnológica puede convertir en obsoleto todo el sistema de enseñanza de un país en un par de décadas. Estados Unidos está discutiendo si es necesario cambiar los planes de estudio de la educación primaria por esta razón (Alpert, 2004). Pero ¿tendrán los países en desarrollo la capacidad de enfrentar desafíos de tal escala?

## Conclusiones

Las nanotecnologías son consideradas *tecnologías disruptivas*, esto es, tecnologías que van a modificar radicalmente todo el sistema de producción vigente, abarcando la mayoría de las ramas de la producción y convirtiendo rápidamente en obsoletas a las tecnologías actuales, una vez que la producción industrial de nanoproducidos y con nanocomponentes alcance volumen masivo. Dado el carácter globalizado de la economía, los impactos se sentirán en todo el mundo de manera prácticamente simultánea.

Un cambio tan rápido traerá consecuencias insospechadas. Los beneficios pueden apreciarse día a día en los productos que crecientemente se venden en el mercado, y en las promesas, muchas de ellas plausibles, de los laboratorios de investigación. Para los países en desarrollo ciertas ventajas que la nanotecnología ofrece parecen suficientes para impulsar la investigación. Este podría ser el caso del efecto de las nanotecnologías sobre las energías. Semiconductores de cristal (*quantum dots*) permitirían poten-

ciar el transporte y almacenamiento de la energía solar. Las nanopartículas de cristal podrían diluirse en la pintura de los edificios y las casas para capturar luz en una proporción varias veces superior a las actuales células fotovoltaicas. También la energía eólica se vería fortalecida al hacer más livianas y resistentes las aspas de los aerogeneradores, lo que aumentaría su capacidad de captación de viento y abarataría costos. La energía extraída de la biomasa se potenciará con nanocatalizadores más eficientes y procedimientos de separación de gases. Se habla incluso de mecanismos de almacenamiento de hidrógeno mediante nanocélulas de carbono. Y no sólo la producción, también el consumo de la energía se vería impactado por una mayor eficiencia.

La aplicación de las nanotecnologías a la purificación y recicle del agua parecen también contundentes. Filtros físicos con poros de escala nanométrica podrían eliminar bacterias, virus y *prions* (proteínas que causan enfermedades). Los nanodispositivos podrían detectar y eliminar sales y metales pesados. Podrían utilizarse bacterias formuladas especialmente para consumir contaminantes. Los dispositivos nanotecnológicos de purificación de agua podrían auto-limpiarse y funcionar de manera completamente automática.

Sin embargo, además de estas promesas, ya se preven riesgos importantes. En un mundo comandado por la ganancia empresarial, es evidente que los productos serán lanzados al mercado antes que la sociedad tenga la capacidad de analizar pormenorizadamente sus efectos, tanto en los riesgos sobre la salud y el ambiente como en los impactos sociales y económicos. En el ínterin, si las condiciones actuales de lentísimos avances en la regulación de nanotecnología no cambian, el grueso de la sociedad irá adaptándose a los productos de una tecnología con consecuencias muchas veces imprevisibles y sobre las cuales nunca tuvo oportunidad de opinar.

GIBR

- Alpert, C. L. (2004). *Introducing Nanotechnology to Public and School Audiences*. Nano Science and Technology Institute. <<http://www.nsti.org/Nanotech2004/showabstract.html?absno=581>> (3 de abril de 2005).
- Altmann, J. y M. Gubrud (2004). "Anticipating Military Nanotechnology", *IEEE Technology and Society Magazine* Número editado por E. J. Woodhouse. 23 (4): 33-40.
- Baker, S. y A. Aston (2005). "The Business of Nanotech", *Business Week*, 14 de febrero.
- CEPAL (2004). *Balance preliminar de las economías de América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina. Santiago de Chile.
- Court, E.; A. S. Daar; E. Martin; T. Acharya y P. A. Singer (2004). "Will Prince Charles *et al* Diminish the Opportunities of Developing Countries in Nanotechnology?", *Nanotechweb.org* <<http://www.nanotechweb.org/articles/society/3/1/1>> (19 de abril 2005).
- Crow, M. y D. Sarewitz (2000). "Nanotechnology and Societal Transformation", *National Science and Technology Council Workshop on Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. sept. 28-29.
- Drexler, E. (1986). *Engines of Creation*. Anchor Books <<http://www.foresight.org/EOC/Engines.pdf>> (3 de abril de 2005).
- ETC (2004). "NanoParticles Shown to Cause Brain Damage", Organic Consumers Association, <[www.organicconsumers.org/foodsafety/nanobrain040504.cfm](http://www.organicconsumers.org/foodsafety/nanobrain040504.cfm)>. (3 de marzo de 2005).
- \_\_\_\_\_ (2005). "Nano Geo Politics". *ETC Group Surveys the Political Landscape*. ETC Group Special Report-Communiqué 89, julio-agosto. <<http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=520>> (15 de agosto de 2005).
- Forbes (2004). *Nanotech Report*. 3 (12): 1-3. <[www.forbesnanotech.com](http://www.forbesnanotech.com)>.
- Ikezawa, N. (2001). "Nanotechnology: Encounters of Atoms, Bits and Genomes", *NRI papers*, 37. Nomura Research Institute. Diciembre. <<http://www.nri.co.jp/english/opinion/papers/2001/pdf/np200137.pdf>> (8 de septiembre de 2005).
- Lux Research (2004). "Statement of Findings: Benchmarking U.S. States in Nanotech", reporte *Benchmarking U.S. States for Economic Development from Nanotechnology*. Diciembre. <[www.luxresearchinc.com](http://www.luxresearchinc.com)>.
- Malsch, I. (2004). *Nanotechnology in Mexico*. <[www.nanoTsunami.com](http://www.nanoTsunami.com)> (14 de abril de 2005).
- Mantovani, E. (2004). *Nanotechnology in the World Today*. Ponencia, "Present Situation and Forecasts of Nanotechnology in: Materials, Health and Medical Systems, Energy", NRM (nanoroadmap Project), Roma, 4-5 de noviembre. <[http://www.nanoroadmap.it/events/first\\_conference/presentations/mantovani.pdf](http://www.nanoroadmap.it/events/first_conference/presentations/mantovani.pdf)> (20 de febrero de 2005).
- Mehta, M. (2002). "Privacy vs. Surveillance. How to Avoid a Nano-Panoptic Future", *Canadian Chemical News*. Nov-dic: 31-33.
- Nanotechnology Now (2003). Foresight Institute Awards 2003 Feynman Prizes. <<http://www.nanotech-now.com/Foresight-release-10142003.htm>>. (15 de agosto de 2005).
- Roco, M. (2003). "Broader Societal Issues of Nanotechnology", *Journal of Nanoparticle Research*, 5: 181-189.
- RS&RAE (2004). *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*. The Royal Society & The Royal Academy of Engineering. Londres. <[www.royalsoc.ac.uk/policy](http://www.royalsoc.ac.uk/policy)> y <[www.raeng.org.uk](http://www.raeng.org.uk)> (12 de febrero de 2005).
- Salamanca-Buentello, F.; D. L. Persad; E. B. Court; D. K. Martin; A. S. Daar y P. Singer (2005). "Nanotechnology and the Developing World", *PLoS Medicine*. 2 (5). <<http://medicine.plosjournals.org/perlserv/?request=get-document&doi=10.1371/journal.pmed.0020097>> (20 de mayo de 2005).
- Sarewitz, D. y E. Woodhouse (2003). "Small is Powerful", en Lightman, A.; D. Sarewitz y C. Desser. *Living with the Genie* Island Press, Washington D.C.
- SBPC (2002). "Aplicações tecnológicas dependem de investimentos privados". Reportage, *Nanociência e Nanotecnologia*. <[www.comciencia.br](http://www.comciencia.br)> (14 de abril de 2005).
- Schapiro, M. (2003). "Blowback in Genetic Engineering". En: Lightman, A.; D. Sarewitz y C. Desser. *Living with the genie* Island Press, Washington D.C.
- Wilkes, S. (2005). "For Richer or Poorer", *Materials World*. Abril. <<http://www.iom3.org/materialsworld/feature-pdfs/apr05/For%20richer,%20for%20poorer.pdf>> (15 de agosto de 2005).