# AGENDA RELACIONADA CON EL COMERCIO PARA EL DESARROLLO Y LA EQUIDAD (T.R.A.D.E.)

## DOCUMENTO DE INVESTIGACIÓN

# 4

# PPOTENCIALES REPERCUSIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN LOS MERCADOS DE PRODUCTOS BÁSICOS: CONSECUENCIAS PARA LOS PAÍSES EN DESARROLLO DEPENDIENTES DE PRODUCTOS BÁSICOS

Este documento fue elaborado por

**ETC Group***

**CENTRO DEL SUR**

**NOVIEMBRE DE 2005**

---

* Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración.

## CENTRO DEL SUR

En agosto de 1995 el Centro del Sur pasó a ser una organización intergubernamental permanente de países en desarrollo. El Centro del Sur goza de plena independencia intelectual en la prosecución de sus objetivos de fomentar la solidaridad y la cooperación entre los países del Sur y de lograr una participación coordinada de los países en desarrollo en los foros internacionales. El Centro del Sur elabora, publica y distribuye información, análisis estratégicos y recomendaciones sobre asuntos económicos, políticos y sociales de orden internacional que interesan al Sur.

El Centro del Sur cuenta con el apoyo y la cooperación de los gobiernos de los países del Sur, y colabora frecuentemente con el Grupo de los 77 y el Movimiento de los Países No Alineados. En la elaboración de sus estudios y publicaciones, el Centro del Sur se beneficia de las capacidades técnicas e intelectuales que existen en los gobiernos e instituciones del Sur y entre los individuos de esta región. Se estudian los problemas comunes que el Sur debe afrontar, y se comparten experiencia y conocimientos a través de reuniones de grupos de trabajo y consultas, que incluyen expertos de diferentes regiones del Sur así como también del Norte.

# ÍNDICE

RESUMEN ..... vii

I. INTRODUCCIÓN ..... 1

II. TECNOLOGÍA Y COMERCIO DE PRODUCTOS BÁSICOS: PERSPECTIVA HISTÓRICA ..... 3

II.1 Intercambios de alimentos ..... 3

II.2 Biodiversidad con múltiples orígenes ..... 3

II.3 Cosechas para la producción de tintes ..... 4

II.4 Reducciones sintéticas ..... 5

II.5 Fuentes de materiales múltiples ..... 5

II.6 ¿Se aprendieron las lecciones? ..... 6

III. NANOTECNOLOGÍA ..... 8

III.1 ¿Qué es la nanotecnología? ..... 8
*III.1.1 Escala de la materia manipulada mediante el uso de nanotecnologías* ..... *9*
*III.1.2 Comportamiento modificado de la materia a nanoescala* ..... *9*
*III.1.3 Las tecnologías de nanoescala permiten la convergencia tecnológica* ..... *10*
*III.1.4 Producción «de abajo hacia arriba»* ..... *11*

III.2 Riesgos potenciales de las nanopartículas ..... 14

III.3 Tendencias en la propiedad intelectual y la nanotecnología: consecuencias para los países en desarrollo ..... 16
*III.3.1 Tendencias en la protección por patente de productos nonotecnológicos* ..... *18*
*III.3.2 Patentes de los componentes básicos y herramientas fundamentales de la nanotecnología* ..... *20*
*III.3.3 Reivindicaciones de patentes en multiplicidad de industrias* ..... *22*
*III.3.4 Patentes de nanobiotecnología* ..... *23*
*III.3.5 Papel de las universidades públicas en la propiedad intelectual de productos nanotecnológicos* ..... *24*

IV. POTENCIALES REPERCUSIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA PARA LOS PAÍSES EN DESARROLLO DEPENDIENTES DE PRODUCTOS BÁSICOS ..... 26

IV.1 ¿Dará la nanotecnología respuesta a las necesidades de desarrollo humano en el mundo en desarrollo? ..... 27
*IV.1.1 Nanoagua* ..... *28*
*IV.1.2 Nanoenergía* ..... *29*

IV.2 ¿Qué papel desempeñan en la actualidad los países en desarrollo en la I+D en materia de nanotecnología? ..... 30

IV.3 Repercusiones en el comercio y los mercados de productos básicos ..... 31
*IV.3.1 Introducción a las potenciales repercusiones de las nanotecnologías* ..... *32*
*IV.3.2 Estudios de casos* ..... *34*

V. CONCLUSIÓN ..... 47

VI. RECOMENDACIONES POLÍTICAS ..... 49

VI.1 Promoción de estrategias de advertencia y percepción temprana en el seguimiento y la evaluación de la tecnología ..... 49

VI.2 Aumentar la participación de los países en desarrollo dependientes de productos básicos en las decisiones en materia de nanotecnología ..... 52

APÉNDICE ..... 55

GLOSARIO ..... 58

BIBLIOGRAFÍA ..... 61

# SIGLAS

| | |
|---|---|
| ADPIC | Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio |
| AITPA | Asociación Industrial Textil de Proceso Algodonero |
| CAS | Chinese Academy of Sciences (Academia China de Ciencias) |
| CDB | Convenio sobre la Diversidad Biológica |
| CDS | Comisión sobre el Desarrollo Sostenible |
| CIRADR | Conferencia Internacional sobre Reforma Agraria y Desarrollo Rural |
| ECOSOC | Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas |
| EIU | Economist Intelligence Unit |
| ICENT | Convención Internacional para la Evaluación de Nuevas Tecnologías |
| ICI | Imperial Chemical Industries |
| I+D | Investigación y desarrollo |
| FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación |
| PIB | Producto interno bruto |
| PMA | Países menos adelantados |
| MIT | Massachusetts Institute of Technology (Instituto Tecnológico de Massachusetts) |
| NASA | Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio |
| NNI | National Nanotechnology Initiative (Iniciativa Nacional de Nanotecnología) |
| PVC | Polivinilo de cloruro |
| UNAM | Universidad Autónoma de México |
| UNICAMP | Universidad Estatal de Campinas (Brasil) |
| UV | Ultravioleta |

**Organizaciones**

| | |
|---|---|
| ISO | Organización Internacional de Normalización |
| OCDE | Oficina para la Cooperación y el Desarrollo Económico |
| OIT | Organización Internacional del Trabajo |
| OMPI | Organización Mundial de la Propiedad Intelectual |
| OMC | Organización Mundial del Comercio |
| UNCTAD | Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo |

# RESUMEN

Para la mayoría de países en desarrollo, la producción de productos básicos es la columna vertebral de su economía. La dependencia de los productos básicos y la pobreza están estrechamente ligadas. Los productos básicos representan la principal fuente de ingresos para las poblaciones pobres de las zonas rurales del Sur. En 95 de los 141 países en desarrollo, como mínimo el 50 % de sus ingresos por exportaciones depende de los productos básicos, y en 46 de los países en desarrollo, más de la mitad del total de sus ingresos por exportaciones depende de tres o un número menor de productos básicos.[1] Los desafíos que la dependencia de los productos básicos plantea son múltiples y complejos. La característica distintiva de la dependencia de los productos básicos es un alto grado de vulnerabilidad económica debida, principalmente, a los problemas persistentes en el descenso y la volatilidad de los precios, las subvenciones que distorsionan el comercio, los obstáculos al comercio y un alto grado de concentración de mercados.

Históricamente, los avances de la ciencia y la tecnología también han tenido fuertes repercusiones en la producción y el comercio de productos básicos. Un rápido cambio tecnológico puede comportar grandes trastornos, un proceso al que algunos economistas se refieren como *destrucción creativa*. En general, los cambios desencadenados por la tecnología en la producción y demanda de productos básicos han sido veloces e impredecibles. Los creadores de nuevas tecnologías están mejor preparados para los cambios repentinos en la oferta y la demanda, mientras que los productores de productos básicos no son conscientes de los cambios inminentes y están menos capacitados para realizar ajustes frente a mercados rápidamente cambiantes. Los historiadores de la ciencia y los economistas suelen describir la introducción de nuevas e importantes tecnologías como *olas* que presentan fases relativamente predecibles de ascenso y descenso.

Hoy en día, los rápidos avances de la ciencia y las tecnologías de nanoescala plantean desafíos adicionales para los países en desarrollo que dependen de los productos básicos. La nanotecnología consiste en la manipulación de la materia a escala de átomos y moléculas, en la que el tamaño se mide en millonésimas de milímetro. Las repercusiones del potencial de la nanotecnología en la economía mundial son increíbles. A causa de su amplitud y escala sin precedentes, la introducción de la nanotecnología se ha descrito metafóricamente no como una ola, sino como un *tsunami tecnológico*. La introducción de la nanotecnología se compara con un tsunami porque se propaga a gran velocidad, permanece bajo la superficie y pasa virtualmente desapercibida antes de su impacto. Cuando la ola nanotecnológica toque tierra, provocará un cambio rápido, monumental, inevitable y potencialmente devastador. La nanotecnología es una *tecnología de plataforma* en el sentido de que cuenta con el potencial para alterar o transformar por completo el estado más actual de la técnica en todos los grandes sectores industriales, y no en uno solo (por ejemplo, en la medicina, la alimentación y la agricultura, la electrónica y la informática, los materiales y la fabricación). En los años próximos, las tecnologías convergentes en la nanoescala revolucionarán el diseño y la fabricación de nuevos materiales en todos los sectores industriales. Un informe, elaborado en 2004 por los analistas industriales Lux Research, Inc., destaca el potencial de la nanotecnología para «transformar cuotas de mercado, cadenas de suministro y empleos en casi todos los sectores industriales».

En todo el mundo, la industria y los Gobiernos invirtieron en 2004 más de 10.000 millones de dólares de los EE. UU. en investigación y desarrollo (I+D) en nanotecnología. La Unión Europea, Japón y los Estados Unidos son los inversores líderes en nanotecnología, con unos niveles de

[1] Fondo Común para los Productos Básicos: *Datos Básicos*, mayo de 2005, p. 4.

financiamiento muy parecidos. Como mínimo, 60 países han creado programas nacionales de investigación en nanotecnología, aproximadamente la mitad de los cuales se encuentran en Europa. La National Science Foundation (Fundación de Ciencia Nacional) de los Estados Unidos predice que el mercado de la nanotecnología superará el billón de dólares de los EE. UU. en 2011 o 2012.[2] Entendidos en la industria predicen que el valor de los productos comerciales que incorporan nanotecnología alcanzará los 2,6 billones de dólares de los EE. UU. (el 15 % de la producción mundial) en 2014; diez veces más que la biotecnología y con un valor igual al de las industrias informática y de telecomunicaciones juntas.[3] En 2000, IBM fue la única gran empresa que financió una iniciativa de nanotecnología. Hoy, prácticamente todas las empresas mencionadas por *Fortune 500* invierten en I+D en nanotecnología.

El gasto en I+D en nanotecnología aumenta rápidamente en los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), y ya se han comercializado más de 700 productos que emplean nanotecnología. Sin embargo, los productos han entrado en el mercado en ausencia de normas que los regulen. Es importante destacar que un número creciente de estudios científicos e informes gubernamentales han advertido recientemente de que las nanopartículas creadas artificialmente podrían suponer un riesgo para la salud humana y el medio ambiente a causa de su tamaño y sus propiedades únicas.

Muchos expertos en desarrollo sostienen que las tecnologías de nanoescala darán respuesta a las necesidades más urgentes del Sur. El Grupo Especial sobre ciencia, tecnología e innovación del Proyecto del Milenio de las Naciones Unidas identifica la nanotecnología como una herramienta importante para enfrentarse a la pobreza y alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio.[4] En particular, la investigación en nanotecnología destinada a resolver los problemas de energía y agua se cita a menudo para demostrar las potenciales contribuciones de la nanotecnología a la sostenibilidad medioambiental y al desarrollo humano. Los investigadores desarrollan en la actualidad nanofiltros y nanopartículas creadas artificialmente para limpiar el agua contaminada. La tecnología de nanoescala también se utiliza para desarrollar células solares económicas, flexibles y eficientes como fuente de energía renovable.

Los Gobiernos, la industria y los científicos de los países de la OCDE se han apresurado a destacar las potenciales contribuciones de la tecnología de nanoescala para el desarrollo en el Sur. No obstante, hasta la fecha, las potenciales repercusiones perjudiciales de la tecnología en las economías en desarrollo y en el desarrollo humano han recibido una atención mucho menor. El Ministro sudafricano de Ciencia y Tecnología, Mosibudi Mangena, hizo una advertencia en febrero de 2005: «Con el aumento de la inversión en investigación e innovación en nanotecnología, los materiales más tradicionales... van... a ser reemplazados por [materiales] más baratos, con mayor variedad de aplicaciones y más resistentes. Es importante garantizar que nuestros recursos naturales no se

---

[2] La National Science Foundation de los Estados Unidos predijo que el mercado para los nanoproductos superaría el billón de dólares de los EE. UU. en 2015. En 2004, la NSF revisó su previsión y estimó que el límite del billón de dólares de los EE. UU. podría alcanzarse en 2011. *Véase*, por ejemplo, www.memsnet.org/news/1032299214-3

[3] Para información sobre el número de empresas nanotecnológicas, Ann M. Thayer: "Nanotech Investing", *Chemical & Engineering News*, vol. 83, n° 18, 2 de mayo de 2005, p. 17 y Lux Research, Inc. Para información sobre el papel temprano que desempeñó IBM en la inversión en nanotecnología, *véase* Bruce Lieberman: "Nanotech: Rapidly advancing science is forecast to transform society", *San Diego Union Tribune*, 14 de marzo de 2005. Las predicciones del mercado para la nanotecnología son anónimas, Lux Research: "Revenue from nanotechnology-enabled products to equal IT and telecom by 2014, exceed biotech by 10 times", 25 de octubre de 2004.

[4] Calestous Juma y Lee Yee-Cheong: "Innovation: applying knowledge in development", UN Millennium Project Task Force on Science, Technology, and Innovation, 2005, p. 69 y sig., disponible en Internet: http://bcsia.ksg.harvard.edu/BCSIA_content/documents/TF-Advance2.pdf.

conviertan en superfluos, sobre todo porque nuestra economía todavía depende en gran parte de ellos.»[5]

En el presente informe se examinan las potenciales repercusiones de la nanotecnología en dos sectores, la agricultura y la minería, en los países en desarrollo dependientes de productos básicos. Los estudios de casos sobre el caucho, los textiles, el platino y el cobre son los primeros ejemplos de cómo pueden verse afectadas las economías y los trabajadores en el Sur por la I+D y los productos derivados de la nanotecnología. En la mayoría de los casos, es demasiado pronto para predecir con seguridad qué productos básicos o trabajadores se verán afectados y en qué plazo. Sin embargo, si un nuevo material creado por medio de la nanotecnología supera a un material convencional y puede producirse a un costo comparable, es probable que el nuevo material sustituya al producto básico tradicional. La historia demuestra que habrá una pugna por sustituir productos básicos como el caucho, el algodón y los minerales estratégicos por materias primas más baratas que puedan derivarse o producirse a partir de nuevos procesos más cercanos a los lugares de producción. Los nuevos materiales diseñados por nanotecnología podrían desestabilizar los mercados de productos básicos, perturbar el desarrollo del comercio y eliminar puestos de trabajo. El desplazamiento de trabajadores provocado por el desuso de los productos básicos perjudicará a los más pobres y vulnerables, sobre todo a aquellos trabajadores en el mundo en desarrollo que no cuentan con la flexibilidad económica para responder a las demandas repentinas de nuevas habilidades o de materias primas distintas.

También es importante subrayar que las tecnologías de nanoescala podrían ofrecer a los países en desarrollo el potencial para innovar y añadir valor a los productos básicos actuales. Además, los defensores de la nanotecnología destacan los futuros beneficios para el medio ambiente de los revolucionarios procesos de producción asociados con la construcción «de abajo hacia arriba» que minimizarán los residuos y ofrecerán el potencial para reciclar materias primas. Las potenciales repercusiones de la nanotecnología para el Sur no pueden catalogarse de forma monolítica como *buenas* o *malas*. Sin embargo, queda claro que las naciones en desarrollo dependientes de productos básicos son las más pobres, más vulnerables y, probablemente, se enfrentarán a los mayores trastornos socioeconómicos.[6]

En la actualidad, las innovaciones en nanotecnología y propiedad intelectual son lideradas por el Norte (sobre todo por los Estados Unidos, Japón y Europa), y promueven los intereses de los grupos económicos dominantes. Las empresas transnacionales más importantes del mundo, los laboratorios académicos líderes y las empresas incipientes (*start-up*) de nanotecnología intentan obtener, con agresividad, la protección de la propiedad intelectual relativa a los nuevos materiales, dispositivos y procesos de producción nanotecnológicos. La cuestión del control y la titularidad de la nanotecnología es vital para todos los Gobiernos porque una única innovación de nanoescala puede tener aplicaciones muy divergentes en numerosos sectores industriales. Como ha escrito el *Wall St. Journal*: «Las empresas titulares de patentes innovadoras podrían instaurar cuotas en industrias enteras.»[7] El papel que desempeñará la propiedad intelectual será importante, ya que decidirá quién va a hacerse con el mercado de la nanotecnología valorado en un billón de dólares, quién accederá a las tecnologías de nanoescala y a qué precio. Según Mark Lemley, profesor de derecho en la Universidad de Stanford:

---

[5] Discurso inaugural del Ministro de Ciencia y Tecnología, Sr. Mosibudi Mangena, en la presentación del informe de situación del proyecto Autek, Centro Internacional de Convenciones de Ciudad del Cabo, 8 de febrero de 2005.

[6] Aunque existe desacuerdo acerca de la relación causal entre la pobreza y la dependencia de los productos básicos, sí existe acuerdo en que los países con una mayor dependencia de los productos básicos son los más pobres. *Véase* por ejemplo Nancy Birdsall y Amar Hamoudi: *Commodity Dependence, Trade and Growth: When 'openness' is not enough*, Center for Global Development, Working Paper No. 7, mayo de 2002, p. 17.

[7] Ibídem.

«... las patentes tendrán una gran influencia sobre la tecnología, mayor que sobre ninguna otra ciencia moderna en una fase comparable de desarrollo.»[8]

Frente a los precios permanentemente bajos y volátiles de los productos básicos destinados a la exportación, así como a la persistente pobreza experimentada por muchos trabajadores que se dedican a la producción de productos básicos en el Sur, pocos se mostrarían a favor de preservar el statu quo. El mantenimiento del statu quo no es la cuestión. La cuestión inmediata y más urgente es la probabilidad de que las nanotecnologías provoquen grandes trastornos socioeconómicos para los que la sociedad no está preparada.

Los países en desarrollo dependientes de productos básicos deben adquirir una comprensión más completa de la dirección y las repercusiones de las transformaciones tecnológicas derivadas de la nanotecnología y participar en la determinación de cómo las tecnologías emergentes podrían afectar a su futuro. Para ser capaces de seguir el ritmo del cambio tecnológico, se precisan planteamientos innovadores que permitan vigilar y evaluar la introducción de las nuevas tecnologías. Al final de este informe se presentan varias recomendaciones de políticas específicas para ayudar a los países en desarrollo dependientes de productos básicos a enfrentar los desafíos y oportunidades planteados por la ciencia y las tecnologías de nanoescala rápidamente emergentes. Deben desarrollarse estrategias de advertencia y percepción tempranas para poder seguir el ritmo del cambio tecnológico.

---

[8] Mark A. Lemley, profesor de derecho William H. Neukom, Universidad de Stanford: *Patenting Nanotechnology*, manuscrito sin publicar, enviado al Grupo ETC por el autor, marzo de 2005, p. 20.

# I. INTRODUCCIÓN

*Nota: En el presente documento, los términos especializados relacionados con las nanotecnologías están subrayados y definidos en el glosario.*

La producción de productos básicos es el pilar de la economía en la mayoría de países en desarrollo. Según la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), la dependencia de los productos básicos se mide mediante el porcentaje de los tres productos básicos principales en el total de las exportaciones de un determinado país.[9] Cuanto mayor es el porcentaje, mayor es la dependencia del país. La dependencia de los productos básicos y la pobreza están estrechamente ligadas. Los productos básicos representan la principal fuente de ingresos para las poblaciones pobres de las zonas rurales del Sur. Según el Fondo Común para los Productos Básicos, de los 2.500 millones de personas que trabajan en la agricultura en los países en desarrollo, se estima que 1.000 millones obtienen gran parte de sus ingresos de la producción de productos básicos destinados a la exportación.[10] En 95 de los 141 países en desarrollo, como mínimo el 50 % de sus ingresos por exportaciones depende de los productos básicos, mientras que en 46 de los países en desarrollo más de la mitad del total de sus ingresos por exportaciones depende de tres o un número menor de productos básicos.[11] (*Véase* el anexo, Cuadro 1, para una clasificación de países que dependen de tres productos básicos principales destinados a la exportación.) Los desafíos que la dependencia de los productos básicos plantea son múltiples y complejos. La característica definitoria de la dependencia de los productos básicos es un alto grado de vulnerabilidad económica debida principalmente a los problemas persistentes en el descenso y la volatilidad de los precios, subvenciones que distorsionan el comercio, obstáculos al comercio y un alto grado de concentración del mercado.

Las estrategias para abordar la vulnerabilidad económica de los países en desarrollo dependientes de productos básicos suelen centrarse en los esfuerzos para reducir los obstáculos comerciales y promover un sistema de comercio internacional más justo. Sin embargo, hacer únicamente hincapié en el comercio no es suficiente, sobre todo por lo que respecta a los rápidos avances de la ciencia y las tecnologías de nanoescala. Realmente, puede decirse que la tecnología está posicionada para superar al comercio, y ése será el rasgo distintivo de ventaja comparativa en el siglo XXI. En las próximas décadas, las tecnologías de nanoescala podrían convertir en irrelevantes la geografía, las materias primas e incluso la mano de obra.

En el presente informe se proporciona una breve introducción a las nanotecnologías y se examinan sus potenciales repercusiones sobre los países en desarrollo dependientes de productos. La nanotecnología consiste en la manipulación de la materia a escala de átomos y moléculas, en la que el tamaño se mide en millonésimas de milímetro. Por debajo de los 100 nanómetros (nm), los materiales pueden tener propiedades distintas o mejoradas en comparación con los mismos materiales a una escala más grande. La Royal Society and Royal Academy of Engineering (Real Sociedad y Real Academia de Ingeniería) del Reino Unido describe las nanotecnologías como «el diseño, la

---

[9] http://r0.unctad.org/infocomm/yearbook/coverpageen.htm

[10] Mr. Rolf W. Boehnke, director ejecutivo, Fondo Común para los Productos Básicos, con motivo de la XI sesión de la UNCTAD, Sao Paulo, 16 de junio de 2004.
http://www.unctadxi.org/sections/u11/docs/GeneralDebate/16com_eng.pdf

[11] Fondo Común para los Productos Básicos: *Datos Básicos*, mayo de 2005, p. 4.

caracterización, la producción y la aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas mediante la regulación de la forma y el tamaño a escala nanométrica».[12]

Es importante que los países en desarrollo dependientes de productos básicos examinen el rápido surgimiento de las tecnologías de nanoescala y las implicaciones de este *tsunami tecnológico*. Algunos observadores están entusiasmados con el potencial de la nanotecnología para dar respuesta a las necesidades más urgentes del Sur. No obstante, las potenciales repercusiones perjudiciales de la nanotecnología en las economías en desarrollo, sobre todo en las economías dependientes de productos básicos, han recibido una atención mucho menor. En pocas palabras, las nanotecnologías revolucionarán los procesos tradicionales de producción en todos los sectores industriales. La ingeniería de nanoescala ofrece el potencial para transformar los materiales existentes y diseñar materiales completamente nuevos. Los nuevos materiales creados por nanoingeniería podrían significar que los productores industriales cuenten con múltiples opciones de materias primas, lo que podría alterar de forma radical la demanda de estas materias de los países en desarrollo dependientes de productos básicos.

Los estudios de casos presentados en este informe sobre productos básicos agropecuarios (caucho) y de la minería (platino y cobre) son los primeros ejemplos de cómo la emergente investigación y desarrollo (I+D) en nanotecnología podría tener graves repercusiones en los trabajadores y las economías en las naciones dependientes de productos básicos.

La sociedad no está preparada para los titánicos trastornos socioeconómicos que probablemente provocarán las nanotecnologías, sobre todo en el mundo en desarrollo. Este informe pretende proporcionar a los países en desarrollo dependientes de productos básicos un entendimiento cabal de la dirección y las repercusiones de las transformaciones tecnológicas derivadas de la nanotecnología, así como prepararlos para participar en la determinación de cómo las tecnologías emergentes podrían afectar a su futuro. Deben desarrollarse estrategias nuevas e innovadoras de advertencia y percepción tempranas para poder seguir el ritmo del cambio tecnológico.

---

The Royal Society & The Royal Academy of Engineering: *Nanoscience and nanotechnologies*, julio de 2004, p. 5. En Internet: http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm

# II. TECNOLOGÍA Y COMERCIO DE PRODUCTOS BÁSICOS: PERSPECTIVA HISTÓRICA

Los avances en ciencia y tecnología siempre han tenido graves repercusiones en la producción, la demanda internacional y el comercio de productos básicos. Desde el inicio de la expansión europea hace más de 500 años, es posible identificar cinco olas distintas de transferencia tecnológica, que resumimos a continuación.

## II.1 Intercambios de alimentos

Hace cinco siglos, la necesidad (las restricciones al comercio entre Europa y Asia en el siglo XV) y las nuevas tecnologías de navegación animaron a Europa a desplazarse al hemisferio occidental, al océano Índico y a Asia Oriental. La expansión europea aceleró el intercambio de importantes plantas alimenticias y ganado entre los continentes y las personas. A través de los marineros portugueses y españoles, el maíz, la mandioca y los cacahuetes fueron rápidamente adoptados en muchas partes de África. De forma similar, el maíz y el boniato fueron muy bien recibidos en Asia Oriental y en las islas del Pacífico. Los cereales de Eurasia (incluidos el arroz, el trigo y la cebada), así como las bananas de África y Asia fueron adoptados por América Latina, de la misma forma que el ganado bovino, ovino, las aves y los caballos. Mientras tanto, mediante una variedad de sucesos accidentales e intencionados, las patatas, el maíz y los tomates se hicieron un sitio en la cocina Europea. Aunque este intercambio de alimentos fue muy importante (y a menudo estratégico), en contadas ocasiones fue el resultado de un diseño geopolítico. La introducción satisfactoria de nuevas plantas alimenticias puede atribuirse en su mayor parte a los intercambios entre agricultores. Aunque es lógico pensar que la introducción de nuevos alimentos básicos, en especial las patatas, debería haber tenido grandes repercusiones en la seguridad alimentaria de los europeos – e incluso haber hecho viable la migración urbana y la revolución industrial –, los datos actuales no son tan claros, pero lo cierto es que no existe prueba alguna de una estrategia económica.

## II.2 Biodiversidad con múltiples orígenes

El ritmo de la transferencia tecnológica se aceleró con la construcción de jardines botánicos coloniales en dos fases: la primera, entre 1760 y 1820, fue testigo del establecimiento de jardines dedicados a la investigación y la colección de especies desde Jamaica y San Vicente hasta Malasia y Java. Una segunda fase de construcción de jardines tuvo lugar cuando los poderes coloniales se desplazaron a África en el último cuarto del siglo XIX. A finales de ese siglo, los jardines Kew Gardens del Reino Unido disponían de más de un millón de especies vegetales y llevaban a cabo un intercambio activo que incluía a 54 jardines de todo el mundo. A diferencia de las transferencias de plantas alimenticias de los siglos anteriores, los jardines, apoyados por fervientes coleccionistas y taxonomistas aficionados, trabajaban de forma sistemática para describir y comercializar las especies que reunían. Sin embargo, no fue hasta la invención de la llamada caja Wardian en 1829, cuando se hizo técnicamente posible el desplazamiento sistemático de especies foráneas entre continentes. Las cajas (terrarios) facilitaron por ejemplo la transferencia del café de Etiopía (que ya se había extendidos a través del océano Índico llegando incluso hasta Indonesia) primero a París y Amsterdam y, a partir de

ahí, a América Central y del Sur; el té de China se transfirió a Asia Meridional y (mucho más tarde) a África Oriental; la chinchona de los Andes y el caucho del Amazonas se llevaron vía Londres a las plantaciones del sur y el sureste de Asia. Las palmas de aceite de África Occidental y Central se convirtieron en plantaciones en el sureste de Asia, mientras que el algodón de África y Asia se plantó en el sur de los Estados Unidos, el Caribe e incluso en territorios más meridionales. Las especies y las plantas ornamentales también fueron importantes desde el punto de vista comercial. Los neerlandeses, por ejemplo, intentaron monopolizar el comercio de especies desde Asia concentrando la producción en unas pocas islas, mientras destruían los cultivos de otras. Algunas especies que se transfirieron de forma generosa entre agricultores dieron finalmente lugar a importantes plantaciones. Entre éstas, cabe destacar la banana en América Latina, transferida de África y Asia; el cacao y los cacahuetes latinoamericanos transferidos a África Occidental. Más tarde, la soja de China y la península coreana ganaron importancia en Brasil y Argentina, donde esta especie se cultivaba para la alimentación del ganado destinado tanto al consumo nacional como a la exportación.[13]

Durante la segunda ola de transferencia tecnológica, los poderes coloniales controlaban el flujo de cultivos y el germoplasma, y también monopolizaban la producción y el procesamiento de tecnologías importantes para la comercialización. En la mayoría de los casos, las transferencias de tecnología creaban una dependencia económica en los países colonizados.

## II.3 Cosechas para la producción de tintes

Hacia finales del siglo XIX, los desarrollos en la química, sobre todo en Alemania, pero también en Francia y el Reino Unido, dieron paso a una nueva ola tecnológica que redujo o alteró significativamente la demanda de materias primas de los países en desarrollo. La anilina y otros tintes de Alemania, por ejemplo, sustituyeron rápidamente a los tintes naturales como la rancina. Los agricultores turcos exportaron 15.000 toneladas anuales a las empresas textiles británicas entre 1850 y 1870, cuando esta raíz cedió ante la alizarina. Hacia 1900, el mercado ya había desaparecido. De forma similar, una de las exportaciones más valiosas de Liberia, un tinte rojo de un árbol llamado narra, perdió toda su importancia comercial prácticamente de la noche a la mañana, de la misma forma que lo hizo el carmín de México (que se extraía de la cochinilla), el negro de extracto de campeche de las Indias Occidentales, el rojo de laca india, el carmesí y el morado del Pernambuco, y el verde del árbol chino llamado *lokao*. Además de los tintes naturales, cabe mencionar los *plásticos* naturales como la laca y la gutapercha del Sureste Asiático.[14]

Un hecho más conocido es que cuando los tintes azules sintéticos pasaron a producirse a gran escala en Alemania en 1897, la India tenía 574.000 hectáreas cultivadas de índigo en Bengala y Bihar. En 1911, el terreno cultivado se redujo a 86.000 hectáreas.[15] En 1920, el cultivo había desaparecido prácticamente de la India. Medio siglo más tarde, los sociólogos rurales de los Estados Unidos

---

[13] Esta transferencia se describe con detalle en el libro de Lucile H. Brockway: *Science and Colonial Expansion: The Role of the British Royal Botanic Gardens*, Nueva York, 1979.

[14] La sustitución de los tintes naturales y el uso posterior de fibras sintéticas se describe en el libro de Daniel R. Headrick: *The Tentacles of Progress: Technology Transfer in the Age of Imperialism, 1850–1940*, Nueva York, 1988.

[15] Hugh Martin-Leakee: "A Historic Memoir of the Indigo Industry of Bihar", *Economic Botany*, 29:361-371, Oct.-Dic., 1975, (Archivo 264).

insistieron en que las zonas en el corazón de la región productora de índigo de la India todavía no se habían recuperado completamente de la devastación provocada por la pérdida de los cultivos.[16]

## II.4 Reducciones sintéticas

Tras la Segunda Guerra Mundial, las fibras basadas en el petróleo sintético relegaron en el mercado global no sólo a la seda y al algodón, sino también a las fibras fuertes, que se solían usar en todo tipo de productos, desde alfombras hasta alfombrillas para automóviles y cordeles de cosechar (empacadoras). En los años treinta, gracias a la ciencia de los polímeros, DuPont e I. G. Farben inventaron la síntesis del polivinilo de cloruro (PVC), que se usa para baldosas, discos fonográficos, tuberías, dentaduras, muebles y aislamientos. A continuación, el poliestireno, fabricado por Dow Chemical e I. G. Farben, se usó en forma de espuma, adhesivo y emulsión, y también como plástico duro. Hacia 1945, los Estados Unidos producían 60.000 toneladas de PVC y 7,5 millones de toneladas de poliestireno al año. El polietileno desarrollado por la empresa Imperial Chemical Industries (ICI) se usaba para aislar cables y alambres de radares, envoltorios, materiales e innumerables productos para el uso doméstico. Hacia 1978, la producción de plástico mundial superó la del hierro y el acero.[17]

Un poco antes, el caucho sintético (producido, en vísperas de la Segunda Guerra Mundial, por Alemania y los Estados Unidos como un producto básico estratégico para usos militares) parecía encontrarse a punto de eliminar del mercado al caucho natural, un material que se había convertido en fundamental para las economías del Sureste Asiático. Una importante investigación en cultivo de plantas desembocó en un aumento masivo de la productividad del caucho natural y salvó a esta industria de la extinción.

## II.5. Fuentes de materiales múltiples

Ahora, la convergencia tecnológica en la nanoescala representa una nueva e importante fase en la multiplicidad de fuentes de materias primas para la producción. Dado que cada uno de los elementos de la tabla periódica experimenta alteraciones en sus características o propiedades en distintos tamaños por debajo de los 100 nanómetros, en el mercado reinará la incertidumbre durante algún tiempo. El cableado de cobre puede ser sustituido por nanotubos de carbono, y el platino puede ser reemplazado por un compuesto a nanoescala de níquel y cobalto. Sin embargo, a medida que esta nueva transformación tecnológica progresa, es posible que se encuentren nuevos usos para el cobre y el platino. El caucho y el algodón parecen ser especialmente vulnerables a la nanotecnología, pero ambos productos básicos han estado amenazados con anterioridad y han sobrevivido, por no decir prosperado. Claramente, los exportadores de materias primas de los países en desarrollo están entrando en un período de extrema incertidumbre económica.

---

[16] Fred Buttel, Martin Kinney y Jack Kloppenburg Jr.: "Socio- economic Impact of Project Dislocation", ATAS Bulletin No. 1: Tissue Culture Technology, UN Centre for Science and Technology for Development, Nueva York, 1984.

[17] Daniel Headrick: "Botany, Chemistry, and Tropical Development", *Journal of World History* 7, no. 1 Reading 3 (primavera de 1996): 1–20. en *Bridging World History*, 1, The Annenberg Foundation copyright, 2004.

## II.6 ¿Se aprendieron las lecciones?

**Tendencias y traumas:** En general, los cambios provocados por la tecnología en la demanda de productos básicos han sido rápidos e impredecibles. También, en general, los beneficiarios de los cambios repentinos han sido aquellos que han desarrollado la nueva tecnología, pues se encontraban en la posición de predecir los cambios, mientras que los *perdedores* eran los productores de productos básicos primordiales, ignorantes de los cambios inminentes, o aquellos que no pudieron hacer los ajustes necesarios para las nuevas demandas de forma rápida.

**Fracasos con éxito:** No siempre, o inmediatamente, es evidente que una nueva tecnología es superior a la que sustituye. Las grandes máquinas asociadas a la industria textil del Reino Unido, por ejemplo, no constituyeron inicialmente una mejora en la eficiencia del sistema de manufactura *anticuado* que subvertían. Sin embargo, las grandes máquinas hicieron posible que un pequeño número de fabricantes se hicieran con un gran porcentaje del mercado. De hecho, inicialmente la calidad no era muy buena y los precios no eran especialmente competitivos respecto a las importaciones extranjeras. Los fabricantes textiles del Reino Unido y los Estados Unidos rápidamente se situaron entre las familias más ricas de sus países y ejercieron una notable influencia en las políticas gubernamentales que afectaban a su producción nacional y a las importaciones. Históricamente, las nuevas tecnologías se desarrollan en un vacío legislativo inicial y temporal (o cuando los legisladores hacen la vista gorda) o cuando los legisladores cooperan en el desmantelamiento de las antiguas tecnologías competidoras (aparentemente por razones de salud, medioambientales u otras razones).

Los críticos de las nuevas biotecnologías agrícolas argumentarían, por ejemplo, que las variedades vegetales genéticamente modificadas entraron en el mercado a mediados de los años noventa con un empuje que convirtió su dominancia (por lo menos en América del Norte) prácticamente en inevitable. El *despliegue* que rodeó a las semillas genéticamente modificadas significó que:

- Los cultivadores públicos (universidades y Gobiernos) se convencieron de que los costos de I+D eran prohibitivos y, por lo tanto, cedieron el mercado a grandes empresas.

- Los tribunales adaptaron leyes de propiedad intelectual y otras normas relacionadas con las semillas y los alimentos para acomodar la nueva tecnología.

- Las empresas familiares de semillas, que también asumieron el gasto prohibitivo y, de forma inevitable, se convencieron de que lo mejor era vender y retirarse del mercado.

En un periodo de veinte años, el mercado de las semillas pasó de tener varios miles de empresas de cultivo (públicas y privadas) a un mercado donde diez empresas líderes controlan en la actualidad la mitad de las ventas de semillas a escala mundial;[18] donde las leyes modificadas de la propiedad intelectual proporcionan a las empresas líderes la dominancia en la investigación, y donde el suministro de semillas tradicionalmente diferenciado se ha fusionado con el sector de los pesticidas. Y todo ello para allanar el camino a una tecnología que sus críticos consideran, como mínimo, aún no demostrada e inmadura.

[18] ETC Group: "Global Seed Industry Concentration – 2005", septiembre/octubre de 2005. En Internet: http://www.etcgroup.org

**Olas de producción:** En las últimas décadas, los historiadores de la ciencia y los economistas han descrito la introducción de nuevas e importantes tecnologías no como *revoluciones*, sino como *olas* que presentan fases relativamente predecibles de ascenso y descenso, incluyendo una pauta apreciable de piratería y asociación. Por lo menos desde la Revolución Industrial británica hasta nuestros días, muchos observadores comparten una interpretación de la secuencia de olas que fue desde la maquinaria textil, pasando por el uso del vapor en la maquinaria de producción, los barcos de vapor y las locomotoras, por el acero y la maquinaria pesada, hasta la electricidad, seguida de las sustancias químicas y las tecnologías de la comunicación. La historia muestra que cada una de estas olas surgió de una acumulación gradual del conocimiento, no tanto suscitada por tratarse de una ciencia radicalmente nueva, sino por la novedad de oportunidades. Cada ola fue fabricada artificialmente. De forma más apreciable, estas olas han sido igual de eficaces cuando se han suprimido determinadas nuevas tecnologías, como cuando se ha avanzado otras. Las olas tecnológicas son la *destrucción creativa* que muchos economistas consideran como un componente inevitable del progreso.

«La nueva riqueza que se acumula en un extremo suele estar más que equilibrada por la pobreza que se extiende en el otro... los ricos se vuelven más ricos con arrogancia y los pobres más pobres aun sin tener nada que ver en el asunto.» – Carlota Pérez, Visiting Senior Research Fellow, Universidad de Cambridge, *Technological Revolutions and Financial Capital*, pp. 4 y 5.

**Perdedores y ganadores:** También es casi inevitable que estas olas aporten mayores beneficios a sus productores que a la sociedad en general. Dado que convierten a las antiguas tecnologías y a los mercados en obsoletos, es probable que aquellos que no vean llegar la ola o que no puedan eludir su paso sufran las consecuencias del proceso. De esta forma, entre los primeros 50 a 75 años de la Revolución Industrial, los obreros industriales británicos de hecho perdieron terreno, en términos de salud real, respecto a la generación anterior. Mientras los trabajadores del sector textil del Reino Unido sufrían, también lo hacían los tejedores e hilanderos del sur de Asia, donde la esperanza de vida y las existencias de alimentos también se redujeron. Muchos podrían estar de acuerdo en que, por lo menos inicialmente, las olas de nuevas tecnologías benefician a los ricos y perjudican a los pobres, quienes son incapaces de gestionar con facilidad los trastornos económicos repentinos.

A causa de su amplitud y escala sin precedentes, la nanotecnología se ha descrito metafóricamente no como una ola, sino como un *tsunami tecnológico*. Los tsunamis presentan varias características importantes que ponen de relieve el potencial de la nanotecnología para causar inmensos trastornos socioeconómicos. La introducción de la nanotecnología se compara con un tsunami tecnológico porque causará trastornos muy alejados de su origen. Aunque viaja a gran velocidad y está impulsado por una energía inmensa, sus potenciales repercusiones negativas se encuentran bajo la superficie y pasan virtualmente desapercibidas antes de su impacto. Puede que su fuerza no alcance inmediatamente el Sur, pero cuando la ola nanotecnológica toque tierra, provocará cambios rápidos, monumentales, inevitables y potencialmente devastadores. Con la misma profundidad y energía de un tsunami, la nanotecnología tendrá graves repercusiones en todos los sectores industriales. Todos los productos básicos usados hoy en la industria, incluidos los alimentos, serán potencialmente desplazados.

# III. NANOTECNOLOGÍA

## III.1 ¿Qué es la nanotecnología?

La nanotecnología hace referencia a aquellos campos de la ciencia y la ingeniería donde los fenómenos que tienen lugar a escala nanométrica se usan en el diseño, la caracterización, la producción y la aplicación de materiales, estructuras, dispositivos y sistemas. Sólo hace un cuarto de siglo que somos capaces de modificar voluntariamente la materia a esta escala de tamaño. Esta manipulación a escala nanométrica es lo que distingue a las nanotecnologías de otros campos de la tecnología.

En todo el mundo, la industria y los Gobiernos invirtieron en 2004 más de 10.000 millones de dólares de los EE. UU. en I+D en nanotecnología.[19] El Japón, los Estados Unidos y la Unión Europea son los inversores líderes en nanotecnología, con unos niveles de financiamiento muy parecidos. El Gobierno de China destina más dinero a la investigación en nanotecnología «a una paridad de poder adquisitivo» que ningún otro país, con excepción de los Estados Unidos.[20] Aproximadamente 60 países han establecido programas nacionales de investigación de nanotecnología, la mitad de los cuales se encuentra en Europa.[21] La National Nanotechnology Initiative o NNI (Iniciativa Nacional de Nanotecnología) de los Estados Unidos ha asignado más de 5.000 millones de dólares de los EE. UU. a la actividad de I+D en nanotecnología desde 2001, convirtiéndola en la empresa científica con mayor financiación pública desde el proyecto Apolo (alunizaje). La financiación del Gobierno de los Estados Unidos destinada a la nanotecnología entre 2001 y 2006 fue más del doble que en el periodo anterior. El NNI del Gobierno de los Estados Unidos distribuye los fondos de I+D en nanotecnología entre 11 agencias federales; en el transcurso de la historia del NNI, el Departamento de Defensa ha recibido el mayor porcentaje de financiación para nanotecnología de todas las agencias.[22]

Se estima que existen 1.200 empresas incipientes (*start-up*) de nanotecnología, la mitad de las cuales se encuentra en los Estados Unidos.[23] En 2000, IBM fue la única gran empresa que financiaba una iniciativa de nanotecnología.[24] Hoy, casi todas las empresas citadas en *Fortune 500* invierten en I+D en nanotecnología. La National Science Foundation de los Estados Unidos estima que el mercado de la nanotecnología superará el billón de dólares de los EE. UU. en 2011 o 2012.[25] Fuentes de la

---

[19] Stacy Lawrence: "Nanotech Grows Up," *Technology Review*, junio de 2005, p. 31.
Publicación de noticias de Lux Research: "Nanotechnology Winners and Losers Emerging among Competing Nations, Says Lux Research", 3 de noviembre de 2005.
Mihail Roco, asesor experto para nanotecnología, National Science Foundation (Fundación Nacional de Ciencia), conversación telefónica mantenida el 30 de septiembre de 2005.

[22] *The National Nanotechnology Initiative: Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry, Supplement to the President's FY 2006 Budget*, Washington, DC, marzo de 2005; President's Council of Advisors on Science and Technology: "The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel", Washington, DC, mayo de 2005.
Ann M. Thayer: "Nanotech Investing", *Chemical & Engineering News*, 2 de mayo de 2005, p. 17, de Lux Research, Inc.

[24] Bruce Lieberman: "Nanotech: Rapidly Advancing Science Is Forecast to Transform Society", *San Diego Union Tribune*, 14 de marzo de 2005.

[25] M. Roco, entrevista en el sitio web de la National Nanotechnology Initiative: http://www.nano.gov/html/interviews/MRoco.htm

industria predicen que el valor de los productos comerciales que incorporan nanotecnología alcanzará los 2,6 billones de dólares de los EE. UU. (el 15 % de la producción mundial) en 2014; diez veces más que el valor de los productos biotecnológicos y con un valor igual al de los productos de la informática y de las tecnologías de las telecomunicaciones juntas.[26]

Los niveles de financiación de I+D son un indicador del compromiso financiero de los sectores público y privado mundiales. Sin embargo, para apreciar plenamente el poder, el potencial y la originalidad de la nanotecnología, es importante comprender tres componentes fundamentales de la ciencia de nanoescala.

### *III.1.1 Escala de la materia manipulada mediante el uso de nanotecnologías*

La *nanotecnología* no sólo hace referencia a una rama única de las ciencias aplicadas, sino a un conjunto de técnicas diversas que incluyen una variedad de disciplinas científicas. Las nanotecnologías tienen algo en común: todas implican que la materia se encuentra a escala del nanómetro (nm). Los átomos y las moléculas son materiales de nanoescala. Un nanómetro es la milésima parte de un micrón (μm) y 1 μm es una milésima de un milímetro. La nanoescala se refiere generalmente a las medidas entre 1 y 100 nm. Por ejemplo, una molécula de ADN tiene una amplitud de 2,5 nm. Un átomo de hidrógeno mide 0,1 nm de diámetro. Los elementos químicos (por ejemplo el oro, la plata, el carbono) y los compuestos (por ejemplo el dióxido de titanio) ahora pueden procesarse en forma de nanopartículas (menos de 100 nm de diámetro), y estas nanopartículas se usan en la actualidad en cientos de productos, con miles de productos más a la espera. Todo lo que está a nanoescala es invisible y sólo puede verse con la ayuda de microscopios de *barrido en túnel* y de *fuerza atómica*.

Sin estas herramientas fundamentales, que IBM fue el primero en desarrollar y patentar en los años ochenta, sería imposible *ver* y manipular la materia a nanoescala. En lugar de ampliar una muestra hasta ser lo bastante grande como para ser vista por el ojo, tal y como hacen los microscopios ópticos convencionales, estos instrumentos especializados escanean la superficie de una muestra a nanoescala con una punta afiladísima. Se miden y registran los contornos de la muestra y, a continuación, se traducen a una imagen gráfica. Bajo ciertas circunstancias, un átomo individual puede pegarse a la punta en forma de aguja. Mediante los microscopios de barrido en túnel, los investigadores ahora tienen la posibilidad de mover cada uno de los átomos. La invención de los microscopios de barrido en túnel valió a los investigadores de IBM el premio Nobel en 1986.[27]

### *III.1.2 Comportamiento modificado de la materia a nanoescala*

En la nanoescala, las reglas de la física clásica ya no son válidas y, en su lugar, se observan efectos cuánticos. Esto significa que una sustancia a nanoescala puede comportarse de forma totalmente diferente de como lo haría a una escala mayor. Solamente con una reducción de tamaño y ninguna modificación en la sustancia, pueden cambiar todas las propiedades relacionadas con la conductividad eléctrica, la electricidad, la fuerza, el color y la reactividad química. Por ejemplo:

---

[26] Lux Research: "Revenue from Nanotechnology-enabled Products to Equal IT and Telecom by 2014, Exceed Biotech by 10 Times", comunicado de prensa (Nueva York, 25 de octubre de 2004).

[27] En vista de este avance, algunos investigadores prevén que los átomos y las moléculas un día se organizarán a discreción para crear o construir cualquier material u objeto deseado, incluyendo casas y alimentos; otros investigadores se muestran escépticos ante la posibilidad de que la *producción molecular* a gran escala se convierta algún día en realidad. Un número especial de *Scientific American* (septiembre de 2001) dedicado a la nanotecnología fue el primero en publicar un debate entre los creyentes y los escépticos de la *producción molecular*.

- El carbono en forma de grafito (como la mina de lápiz) es blando y maleable pero, a nanoescala, el carbono puede ser más fuerte y seis veces más ligero que el acero.

- El óxido de zinc, que a escala del micrón tiene una apariencia blanca y opaca, es transparente a nanoescala.

- El cobre a nanoescala es un metal muy elástico a temperatura ambiente, que se extiende hasta 50 veces su longitud original sin romperse.

- El aluminio a nanoescala puede arder de forma espontánea.[28]

Todo en nuestro universo, tanto lo vivo como lo inerte, está hecho a partir de *materias primas* que son elementos químicos de la tabla periódica. Así pues, la nanotecnología proporciona a los científicos una tabla periódica ampliada que además aumenta de forma exponencial. No se trata simplemente de que cada sustancia presente un conjunto de propiedades asociadas con el terreno de la física clásica y un segundo conjunto de propiedades cuánticas asociadas a la nanoescala. También dentro del campo de la nanoescala, las propiedades fundamentales de una sustancia pueden cambiar. Algunas nanopartículas de oro son por ejemplo inertes, mientras que otro oro a nanoescala y a un tamaño distinto es muy reactivo.

### *III.1.3 Las tecnologías de nanoescala permiten la convergencia tecnológica*

La ingeniería a nanoescala permite a los científicos transformar los materiales existentes, diseñar materiales totalmente nuevos y mejorar los materiales convencionales incorporando materiales a nanoescala (nanocompuestos). Debido a que la manipulación a nanoescala es hoy posible y a que los componentes básicos, tanto de la materia viva como inerte, existen a nanoescala (por ejemplo los átomos, las moléculas y el ADN), se hace posible en la actualidad la convergencia de tecnologías y de disciplinas científicas hasta un grado sin precedentes. La convergencia tecnológica, posibilitada por la nanotecnología y sus herramientas, puede incluir la biología y la biotecnología, la física, las ciencias de materiales, la química, las ciencias cognitivas, la informática, las matemáticas aplicadas, la electrónica y la robótica, entre otras. A nanoescala, no existe diferencia alguna entre la materia viva y la inerte. Por ejemplo, físicos nucleares en Chiang Mai, Tailandia, han *modificado atómicamente* las características de variedades locales de arroz inyectando átomos de nitrógeno en la membrana de una célula de arroz para estimular la reorganización del ADN del arroz.[29] Los químicos están entrando en el campo de la biología al intentar crear componentes electrónicos a partir de virus y bacterias.[30] Un profesor de ingeniería mecánica y aeroespacial ha creado un dispositivo vivo, de longitud milimétrica, a partir de silicona y músculo cultivado en las células del corazón de una rata.[31] Con aplicaciones posibles en todos los sectores industriales, la convergencia tecnológica posibilitada por la nanotecnología está posicionada para convertirse en la plataforma estratégica para la producción industrial, la alimentación, la agricultura y la salud en los próximos años.

---

[28] Para información sobre el nanoaluminio: Steve, Jurvetson: "Transcending Moore's Law with Molecular Electronics", *Nanotechnology Law & Business Journal*, vol. 1, n°. 1, artículo 9, p. 9. Y sobre el nanocobre: Chunli Bai: "Ascent of Nanoscience in China", *Science*, vol. 309, 1 de julio de 2005, p. 62.

[29] ETC Group News Release: "Atomically Modified Rice in Asia?", 25 de marzo de 2004. Disponible en Internet: http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=444

[30] Alan Leo: "The State of Nanotechnology", *Technology Review*, junio de 2002.

[31] Roland Pease: "'Living' robots powered by muscle", BBC News, 17 de enero de 2005, disponible en Internet: http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/4181197.stm

«Nuestro objetivo dentro de 30 años es contar con un control tan estricto de la genética de los sistemas vivos que, en lugar de cultivar un árbol, talarlo y construir una mesa a partir de él, seamos en última instancia capaces de crear la mesa.» – Rodney Brooks, director del Laboratorio de Inteligencia Artificial, MIT

Ya existen en el mercado cientos de productos que emplean nanotecnología:

- Mediante el aprovechamiento de las propiedades antibacterianas de la plata a nanoescala, Smith & Nephew ha desarrollado gasas (vendajes) revestidas con nanopartículas de plata diseñadas para prevenir infecciones.

- Las nanopartículas de dióxido de titanio ($TiO_2$) son transparentes y bloquean los rayos ultravioleta (UV). En la actualidad, el $TiO_2$ a nanoescala se emplea en filtros solares y en envoltorios de comida de plástico transparente para la protección UV.

- Nano-Tex vende un «repelente de manchas» para pantalones kaki y otros tejidos; se trata de un revestimiento molecular que se adhiere a la fibra del algodón y forma una barrera impenetrable que provoca que los líquidos se conviertan en gotas y se deslicen. (*Véase* más adelante, p. 32)

- BASF vende carotenoides sintéticos a nanoescala como aditivos alimentarios para limonadas, jugos de frutas y margarina (los carotenoides son oxidantes y pueden convertirse en vitamina A en el cuerpo humano). Según BASF, el cuerpo absorbe con mayor facilidad los carotenoides creados a nanoescala, que incrementan asimismo la duración de la conservación del producto.

- Syngenta, la mayor empresa agroquímica mundial, vende dos pesticidas que contienen ingredientes activos a nanoescala. La empresa afirma que el tamaño minúsculo de las partículas impide la obstrucción de los filtros de los depósitos de rociado y permite que el sistema de la planta absorba rápidamente el producto químico sin que lo arrastre la lluvia o la irrigación.

- Altair Nanotechnologies desarrolla un producto de limpieza para el agua de estanques de peces y de piscinas. Incorpora partículas a nanoescala de un compuesto basado en el lantano (La) que absorbe los fosfatos del agua e impide el crecimiento de algas.[32]

### *III.1.4 Producción «de abajo hacia arriba»*

Además de las nanopartículas y los materiales nanocompuestos, la nanotecnología también hace posible la producción de abajo hacia arriba donde, bajo las condiciones adecuadas, las moléculas (grupos de átomos) se combinan por sí mismas en configuraciones útiles. El proceso por el que las moléculas encuentran su posición adecuada se llama *autoensamblaje*. Las estructuras autoensambladas resultantes pueden convertirse en módulos para construir dispositivos a nanoescala. La construcción

[32]Para información sobre nanopesticidas: Folleto en Internet del Banner MAXX de Syngenta: http://www.engageagro.com/media/pdf/brochure/ bannermaxx_brochure_english.pdf. Sobre los tratamientos para impedir el crecimiento de algas: Anónimo: "Altair Nanotechnologies' Algae Prevention Treatment Confirmed Effective in Testing", Altair Press Release, 11 de marzo de 2004.

de dispositivos moleculares basada en el autoensamblaje todavía se encuentra en sus inicios. Por ejemplo, se desarrollan productos para su uso como sistemas de circuitos electrónicos. Los fabricantes de chips prevén el uso de estructuras moleculares de autoensamblaje para almacenar datos o conectar y desconectar el flujo de electrones en un circuito. Si los sistemas de circuitos moleculares funcionaran, los nanotubos de carbono podrían sustituir a la silicona, dando como resultado computadoras ultrarrápidas con «órdenes de magnitud» más allá de los que ofrece la silicona. Tanto Intel como Hewlett-Packard han anunciado estrategias para sustituir la silicona por materiales creados por nanotecnología para mantener el crecimiento de la capacidad de procesamiento de las computadoras a ritmo exponencial. Los científicos desarrollan también nanodispositivos para el suministro de medicamentos moleculares.[33]

Otros dispositivos creados por nanotecnología incluyen sensores invisibles y sumamente sensibles, que se fabrican para una gran variedad de aplicaciones. A continuación se ofrecen algunos ejemplos.

- El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ha identificado los *campos inteligentes* rociados con sensores inalámbricos como una de sus prioridades de investigación en materia de nanotecnología.[34] Este organismo desarrolla y promueve un *sistema de campo inteligente* que automáticamente detecte, localice, registre y aplique agua, fertilizantes y pesticidas, y con ello va más allá de la detección para conseguir la aplicación automática.[35] El fabricante de chips informáticos Intel, cuyos chips presentan características de nanoescala, ha instalado grandes nodos sensores inalámbricos (llamados *motas*) en una viña de Oregón, en los Estados Unidos.[36] Los sensores miden la temperatura una vez por minuto y son el primer paso hacia una automatización plena de la viña.

- Empresas de piscicultura de los Estados Unidos experimentan con vacunaciones en masa de peces mediante el uso del ultrasonido.[37] Las nanocápsulas que contienen filamentos cortos de ADN se vierten al estanque, donde son absorbidas por las células de los peces. A continuación, se usa el ultrasonido para reventar las cápsulas, que liberan el ADN y provocan una respuesta inmunitaria en los peces. La tecnología ha sido analizada por Clear Springs Foods (Idaho, Estados Unidos), una gran empresa de piscicultura que produce aproximadamente un tercio del total de las truchas criadas en los Estados Unidos.

- Científicos de la empresa Kraft Foods, así como investigadores de la Universidad Rutgers y de la Universidad de Connecticut, trabajan sobre películas de nanopartículas con sensores integrados para detectar agentes patógenos en alimentos. Gracias a la tecnología de doblaje del *lenguaje electrónico*, los sensores pueden detectar sustancias perjudiciales en billonésimas partes y podrían desencadenar un cambio de color en los envases de

---

[33] Charles Lieber usó la expression *órdenes de magnitud* citada por David Rotman: "The Nanotube Computer", *Technology Review*, marzo de 2002, p. 38. Para información sobre las células tumorales diana: David Mooney: "One step at a time", *Nature*, vol. 436, 28 de julio de 2005, p. 468.

[34] http://www.news.uiuc.edu/scitips/01/05farmlab.html

[35] Versión en borrador de *Nano-Scale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems: A Report Submitted to Cooperative State Research, Education, Education and Extension Service*, basada en un taller de planificación, 18-19 de noviembre de 2002, Washington, DC, septiembre de 2003; el borrador es la revisión B de 14 de febrero de 2003.

[36] Gerry Blackwell: "The Wireless Winery", 23 de septiembre de 2004, en Internet: www.wi-fiplanet.com/columns/article/php/3412061

[37] USDA Grant 2002-00349: "Development of an Ultrasound-mediated Delivery System for the Mass Immunization of Fish". Para más información, *véase*: ETC Group: *Down on the Farm: The Impact of Nano-scale Technologies on Food and Agriculture*, noviembre de 2004. En Internet: www.etcgroup.org

alimentos para avisar al consumidor si un alimento está contaminado o ha empezado a descomponerse.

- El Institute for Soldier Nanotechnologies (Instituto para Nanotecnologías Bélicas) del MIT, creado en 2002 con una subvención de 50 millones de dólares de los EE. UU. del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, tiene por objetivo la creación de un «traje de guerra del siglo XXI» para aumentar las «posibilidades de supervivencia del soldado». Un equipo de investigación se sirve de la nanotecnología para desarrollar un traje de guerra que incorpore: 1) tecnologías extremadamente sensibles de detección de sustancias químicas y biológicas; 2) tejidos con revestimientos protectores que neutralizarían los contaminantes bacteriales o las armas químicas (es decir, el gas nervioso y las toxinas). El tejido del traje de guerra puede que incluya nanoporos que *se cierren* al detectar un agente biológico.[38]

**Cuadro 1**
**Los nuevos materiales moleculares de la nanotecnología: nanotubos, fullerenos (*bubckyballs*) y puntos cuánticos**

Los **nanotubos de carbono** y los fullerenos son moléculas de carbono cristalino puro, como lo son el diamante o el grafito, las otras únicas formas conocidas de carbono cristalino. Un fullereno es una esfera hueca compuesta por 60 átomos de carbono. Un nanotubo de carbono es una variante de un fullereno, que se caracteriza por ser alargado en el medio. Los nanotubos pueden ser huecos como una paja para beber (se conocen como nanotubos de pared única) o enrollados como documentos en un tubo circular (nanotubos de pared múltiple). Tanto los fullerenos como los nanotubos son moléculas autoensambladas, lo que significa que cuando las condiciones son adecuadas (por ejemplo temperatura, presencia de un catalizador), forman por sí mismas configuraciones distintivas.

Los fullerenos y los nanotubos reciben gran atención porque se trata de descubrimientos recientes (ninguno se conocía con anterioridad a 1985) y porque cuentan con propiedades extraordinarias. Como los fullerenos son huecos, son ideales para actuar como recipientes a nanoescala. Los investigadores los imaginan llenos de medicamentos que podrían transportarse por todo el cuerpo, o llenos de combustible para usarlos como propulsores de cohetes. Su capacidad para soportar presión es enorme: en un experimento, un investigador hizo chocar fullerenos a una velocidad de 15.000 millas/hora contra una placa de acero, los fullerenos rebotaron y permanecieron intactos.[39]

Los nanotubos son 100 veces más resistentes que el acero y seis veces más ligeros; ahora pueden producirse con 1 nm de diámetro y varios milímetros de longitud. Los nanotubos pueden actuar como semiconductores o aislantes, dependiendo de cómo se enrollan las láminas de carbono. Están a la venta docenas de productos que contienen nanotubos de carbono (con la finalidad de aumentar la resistencia sin aumentar el peso), incluidas raquetas de tenis, armazones de bicicletas y partes de chasis de automóviles. Los investigadores esperan que, un día, los nanotubos sustituyan al cobre en el cableado y a la silicona en los chips informáticos.

[38] Información sobre el Institute of Soldier Nanotechnologies: http://web.mit.edu/isn/

[39] Marcia F. Barusiak y otros.:*A Positron Named Priscilla: Scientific Discovery at the Frontier*, National Academy of Sciences, 1994, pp. 285-286.

Los **puntos cuánticos** son nanopartículas semiconductoras, cuyas propiedades únicas prometen una gran variedad de aplicaciones en distintos sectores industriales. Los puntos cuánticos son de interés comercial porque, en función de su tamaño, emiten colores claramente distintos. Un punto cuántico en particular o varios puntos de distintos tamaños pueden adherirse o incorporarse a materiales, incluidos los materiales biológicos, para actuar como códigos de barras o dispositivos localizadores. Un proyecto tiene como objetivo añadir puntos cuánticos a tintas o polímeros usados en la fabricación de papel moneda como un instrumento para combatir la falsificación. Los puntos cuánticos se usan para etiquetar material biológico *in vitro* e *in vivo* en animales con fines de investigación, pueden inyectarse en células o adherirse a proteínas para localizar, etiquetar o identificar biomoléculas específicas. La esperanza es que un día los puntos cuánticos puedan usarse en humanos para tratar y vigilar enfermedades como el cáncer. Sin embargo, los investigadores deberán proceder con cautela porque el material nuclear de la mayoría de los puntos cuánticos es extremadamente tóxico y todavía deben llevarse a cabo análisis toxicológicos.[40]

## III.2 Riesgos potenciales de las nanopartículas

El gasto público y privado en I+D en nanotecnología aumenta y ya han comenzado a entrar en el mercado más de 700 nuevos productos. Sin embargo, un creciente número de estudios científicos y de informes gubernamentales han advertido recientemente de que las nanopartículas creadas de forma artificial podrían presentar riesgos únicos para la salud humana y el medio ambiente a causa de sus dimensiones y de sus propiedades cuánticas. Los productos nanotecnológicos han entrado en el mercado sin concienciación pública y sin normas que los regulen.

Sólo existe un puñado de estudios toxicológicos sobre las nanopartículas creadas de forma artificial; sin embargo, ya parece que las nanopartículas como clase son más tóxicas a causa de su pequeño tamaño. Reducidas a la nanoescala, las partículas disponen de un perímetro mayor que puede aumentar su reactividad desde un punto de vista químico. A medida que disminuye el tamaño de la partícula, aumenta su reactividad: una sustancia que puede ser inerte a gran escala, puede presentar características peligrosas a nanoescala. Un aspecto preocupante es que la creciente reactividad de las nanopartículas podría dañar a los tejidos vivos, tal vez mediante la aparición de *radicales libres*, que pueden provocar inflamaciones, daño en los tejidos y crecimiento de tumores.

Las nanopartículas pueden inhalarse, ingerirse o traspasar la piel. Una vez que se encuentran en el torrente sanguíneo, las nanopartículas pueden eludir el sistema inmunitario del cuerpo, como por ejemplo la barrera hematoencefálica. Irónicamente, las mismas propiedades que convierten a las nanopartículas creadas de forma artificial en materias tan atractivas para el desarrollo de sistemas dirigidos de suministro de medicamentos, a saber, su movilidad en el torrente sanguíneo y la habilidad de penetrar la membrana celular, también podrían ser cualidades que las convertirían en peligrosas.

Estudios toxicológicos recientes sobre las repercusiones de las nanopartículas fabricadas en la salud y el medio ambiente indican que existen motivos de preocupación.

---

[40] Puntos cuánticos para combatir la falsificación: http://www.evidenttech.com:80/applications/quantum-dot-ink.php. Información sobre el uso de puntos cuánticos para la visualización de imágenes en biología: Anónimo: Carnegie Mellon news release: “Carnegie Mellon Enhances Quantum Dot Corp. Technology For Long-term, Live-animal Imaging”, 19 de enero de 2004.

- Un estudio publicado en julio de 2004 descubrió que los fullerenos pueden provocar una rápida aparición de daños en el cerebro de los peces.
- En 2005, investigadores de la NASA estadounidenses informaron de que la inyección de nanotubos de carbono, disponibles para ser vendidos, en los pulmones de ratas provocó un gran daño en dichos órganos. (Los investigadores indicaron que la dosis del nanotubo era aproximadamente equivalente al nivel de exposición durante 17 días de un trabajador.)

- En otro estudio, los investigadores del National Institute of Occupational Safety and Health (Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional) de los Estados Unidos informaron en 2005 de los importantes daños en el DNA del corazón y las arterias aortas de ratones que fueron expuestos a nanotubos de carbono.

- En 2005, investigadores de la Universidad de Rochester (Estados Unidos) descubrieron que los conejos que inhalaban fullerenos presentaban un aumento de la propensión a sufrir coágulos en la sangre.

- Un estudio de 2005 muestra que los fullerenos se agrupan en el agua para formar nanopartículas solubles y que, incluso en concentraciones muy bajas, pueden dañar a las bacterias del suelo, dando lugar a preocupaciones sobre cómo estas moléculas de carbono interactuarán con los ecosistemas naturales.[41]

En respuesta a las agudizadas preocupaciones sobre las nanopartículas, algunos científicos han sugerido que sería posible atenuar los potenciales efectos tóxicos mediante el control de la química de superficie de los materiales de nanoescala, o recubriéndolos con sustancias protectoras. Estos esfuerzos se ven complicados por el hecho de que en la actualidad no existe ningún método estandardizado para medir o caracterizar las nanopartículas, ningún régimen de reglamentación para garantizar que las partículas sean *seguras*, y tampoco es posible saber cuánto tiempo pueden durar los revestimientos de protección.[42]

A causa de estas lagunas de conocimiento, los expertos piden precaución y recomiendan que se restrinja o se prohíba la liberación de nanopartículas. En 2002, las organizaciones de la sociedad civil pidieron un periodo de moratoria en relación con el lanzamiento de nanopartículas fabricadas hasta que se establecieran protocolos de laboratorio para proteger a los trabajadores y hasta que hubieran entrado en vigor leyes para proteger a los consumidores y el medio ambiente.[43] Un informe de julio de 2004 elaborado por la Royal Society and Royal Academy of Engineering (Real Sociedad y Real Academia de Ingeniería) del Reino Unido recomendó que se evitara lo máximo posible la liberación en el medio ambiente de nanopartículas y nanotubos fabricados hasta que se tengan más conocimientos sobre sus repercusiones. Explícitamente recomendaban «como medida de precaución que las fábricas y los laboratorios de investigación traten a las nanopartículas y a los nanotubos artificiales como si fueran sustancias peligrosas y las eliminen en corrientes de desechos, además de

---

[41] Eva Oberdörster: "Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C60) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Large-Mouth Bass", *Environmental Health Perspectives*, vol. 112, n° 10, julio de 2004. Janet Raloff: "Nano Hazards: Exposure to minute particles harms lungs, circulatory system", Science News Online, semana del 19 de marzo de 2005; vol. 167, n° 12. Información sobre la solubilidad de las buckyballs: Anónimo: "CBEN: Buckyball aggregates are soluble, antibacterial", 22 de junio de 2005, disponible en Internet: http://www.eurekalert.org/pub_releases/2005-06/ru-cba062205.php.

[42] Información sobre el control de la química de superficie para reducir la toxicidad de las nanopartículas: Anónimo: "Rice Finds 'On-Off Switch' for Buckyball Toxicity", 24 de septiembre de 2004. http://www.physorg.com/news1308.html

[43] ETC Group, Greenpeace International, GeneEthics, ICTA y Corporate Watch han apoyado la petición de a moratoria.

que se prohíba el uso de nanopartículas libres en aplicaciones medioambientales tales como el saneamiento de aguas subterráneas».[44]

En la actualidad, las sustancias químicas de nanoescala quedan fuera de la normativa reguladora si la misma sustancia ha sido aprobada a escala micro o macro. Por ejemplo, los fabricantes de nanotubos de carbono a veces simplemente identifican su producto como *grafito*, otro tipo de molécula de carbono puro, aunque el carbono a nanoescala tiene propiedades y aplicaciones muy distintas. De forma similar, si una sustancia ya ha sido aprobada como aditivo alimentario a una escala mayor (como el dióxido de titanio), las nanopartículas de la misma sustancia no desencadenan ninguna actuación legislativa, aunque, por definición, los ingredientes a nanoescala pueden tener propiedades totalmente distintas, incluyendo diferentes efectos toxicológicos. A pesar de que algunas empresas afirman haber realizado sus propios estudios toxicológicos de nanopartículas, estos estudios raras veces son de dominio público.[45] Si bien los Estados Unidos y los Gobiernos europeos reconocen con retraso que se necesita algún tipo de normativa, queda por ver si las normas para la nanotecnología se redactarán a toda prisa usando las normas existentes para las sustancias químicas o si se impondrá un nuevo principio de precaución.

### III.3 Tendencias en la propiedad intelectual y la nanotecnología: consecuencias para los países en desarrollo

«Si se controlan los átomos, se controla prácticamente todo.» – Dr. Richard Smalley, galardonado con el premio Nobel en 1996 por su descubrimiento de los fullerenos (*buckyballs*).[46]

Es imposible evaluar los desafíos y las oportunidades potenciales que plantea la nanotecnología para los países en desarrollo sin examinar el contexto más amplio de la transferencia tecnológica y de la propiedad intelectual.

La cuestión del dominio y la titularidad de la nanotecnología es vital para todos los Gobiernos porque una única innovación de nanoescala (materiales, dispositivos y procesos) puede tener aplicaciones ampliamente divergentes en todos los sectores industriales. Como ha escrito el *Wall St. Journal*: «las empresas titulares de patentes innovadoras podrían instaurar cuotas en industrias enteras.»[47] La actual prisa por patentar en la nanotecnología recuerda a los inicios de la biotecnología, «es como la biotecnología elevada a la enésima potencia» en palabras de un abogado de patentes. Mientras que las patentes de biotecnología se solicitan para productos y procedimientos biológicos, es posible que las patentes de nanotecnología se soliciten literalmente para elementos químicos, así como para los compuestos y los dispositivos que los incorporan.

---

[44] Royal Society and Royal Academy of Engineering: "Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties", julio de 2004.

[45] ETC Group: *Down on the Farm: The Impact of Nano-scale Technologies on Food and Agriculture*, noviembre de 2004, pp. 46-49. En Internet: http://www.etcgroup.org

[46] Cita de Smalley en su entrevista con Sonia E. Miller: "Measuring Nanotechnology's Effect on the Law", *New York Law Journal*, 02-04-2005 (en línea). Smalley falleció el 28 de octubre de 2005.

[47] Ibídem.

En pocas palabras, la ingeniería atómica proporciona nuevas oportunidades para eliminar el control monopolístico tanto de la materia animada como de la inanimada.[48] La propiedad intelectual desempeñará un papel importante, ya que en base a ella se decidirá quién va a hacerse con el mercado de la nanotecnología valorado en un billón de dólares, quién accederá a las tecnologías de nanoescala y a qué precio. Según Mark Lemley, profesor de derecho en la Universidad de Stanford: «... las patentes tendrán una gran influencia sobre la tecnología, mayor que sobre ninguna otra ciencia moderna en una fase comparable de desarrollo.»[49]

Durante las dos últimas décadas, el papel de la propiedad intelectual en todas las áreas de la ciencia y la tecnología se ha propagado en todo el mundo, en un principio a causa de las normas prescritas por el Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC) de la Organización Mundial del Comercio (OMC) y por los acuerdos de comercio bilaterales o regionales. El Acuerdo sobre los ADPIC exige a todos los países miembros de la OMC que aprueben y velen por el cumplimiento de unas normas mínimas de la propiedad intelectual. La OMC tiene 150 miembros y afirma representar el 97 % de todo el comercio mundial.[50]

El Acuerdo sobre los ADPIC obliga a que los países miembros concedan patentes para las invenciones, ya sean productos o procedimientos, en todos los campos de la tecnología sin discriminación alguna, sujetos a los criterios de patentabilidad estándar (novedad, actividad inventiva y aplicabilidad industrial).[51] Sin embargo, durante las negociaciones del Acuerdo sobre los ADPIC, no se llegó a un consenso sobre la cuestión controvertida de las invenciones biotecnológicas. Los Estados Unidos y algunos otros países desarrollados apoyaban la idea de que no se concedieran excepciones a la patentabilidad, mientras que algunos países miembros en desarrollo preferían excluir de las leyes de propiedad intelectual todas las invenciones relacionadas con la diversidad biológica. Para muchos países en desarrollo, la protección por patente de formas de vida y el derecho legal a obtener una protección monopolística exclusiva sobre los productos y procedimientos biológicos que se originan en los países en desarrollo (o que se basan en conocimientos tradicionales) continúan siendo asuntos polémicos. El artículo 27.3 b) del Acuerdo sobre los ADPIC es el texto que se impuso en última instancia para los productos y procedimientos biológicos. En dicho artículo, se afirma que las plantas y los animales, así como los procedimientos biológicos esenciales, pueden ser excluidos de la patentabilidad. Sin embargo, los miembros de la OMC deben ofrecer protección para las variedades vegetales, ya sea por medio de patentes o de un sistema eficaz *sui géneris*. A los países en desarrollo se les permitió aprobar leyes en esta dirección hasta el año 2000, y a los países menos adelantados (PMA) hasta 2006. A causa de la dificultad de alcanzar un consenso sobre la cuestión, se acordó que el polémico subapartado de los ADPIC, el 27.3 b), fuera revisado en 1999, pero esto no ha sucedido.

La controversia y el debate que rodean la patentabilidad de las invenciones nanotecnológicas en la OMC son importantes en la actualidad porque los materiales y los procesos a nanoescala, en especial aquellas invenciones que incluyen tanto materia viva como inerte, plantean muchas de las mismas cuestiones fundamentales (*véase* más abajo, patentes de nanobiotecnología). Ya se conceden patentes de nanotecnología amplias, que se extienden a múltiples sectores de la industria e incluyen solicitudes generales sobre clases enteras de la tabla periódica. ¿Deberían concederse patentes monopolísticas exclusivas sobre los componentes fundamentales de la naturaleza? ¿Obliga el Acuerdo sobre los ADPIC a todos los países en desarrollo a reconocer y exigir el cumplimiento de las patentes

---

[48] Información sobre la nanotecnología comparada con la biotecnología: Antonio Regalado: "Nanotechnology Patents Surge as Companies Vie to Stake Claim", *Wall Street Journal*, 18 de junio de 2004, p. 1.

[49] Mark A. Lemley, profesor de derecho William H. Neukom, Universidad de Stanford: *Patenting Nanotechnology*, manuscrito sin publicar, enviado al Grupo ETC por el autor, marzo de 2005, p. 20.

[50] Extraído de: "The WTO in brief", disponible en Internet: http://www.wto.org/english/thewto_e/whatis_e/inbrief_e/inbr00_e.htm

[51] Para información adicional de la controversia sobre el artículo 27.3 b) de los ADPIC y el patentado de invenciones biotecnológcas, *véase*: *Seeding Solutions*, volumen 1, publicada por el International Development Research Centre y otros, 2000.

de invenciones nanotecnológicas, incluso aquellas que incorporan plantas y animales, así como procedimientos biológicos esenciales? ¿Impedirán las patentes demasiado amplias relativas a los materiales, procedimientos y dispositivos de nanoescala o un haz de patentes que los países en desarrollo participen en la revolución nanotecnológica?

Durante la década pasada, algunos Gobiernos, la Comisión de Derechos Humanos de las Naciones Unidas, así como la sociedad civil y los movimientos sociales han advertido acerca de las injusticias de la propiedad intelectual para el Sur. Recientemente, incluso en la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), el organismo de Naciones Unidas cuya misión es promover y proteger la propiedad intelectual, la desigualdad de condiciones en materia de propiedad intelectual y las repercusiones negativas del Acuerdo sobre los ADPIC se han vuelto innegables e insostenibles para muchas naciones en desarrollo. En septiembre de 2004, la Declaración de Ginebra sobre el futuro de la OMPI advirtió de que los actuales regímenes de propiedad intelectual tienen repercusiones negativas en el mundo en desarrollo, dando como resultado una falta de acceso a los medicamentos esenciales, prácticas anticompetitivas que obstaculizan la innovación y provocan la malversación de bienes sociales y públicos.[52] En la reunión de la Asamblea General de la OMPI (del 27 de septiembre al 5 de octubre de 2004), el Brasil y la Argentina, apoyados por 14 países en desarrollo copatrocinadores, propusieron que la OMPI adoptara una «agenda para el desarrollo» donde se manifestara que:

> La protección de la propiedad intelectual no puede considerarse como un fin en sí misma, y la armonización de las leyes de la propiedad intelectual tampoco puede derivar en estándares de protección más estrictos en todos los países, independientemente de sus índices de desarrollo. El papel de la propiedad intelectual y sus repercusiones sobre el desarrollo deben evaluarse cuidadosamente caso por caso. La protección de la propiedad intelectual es un instrumento político cuyo funcionamiento, en la práctica, produce tanto beneficios como costos, que pueden variar de acuerdo con el índice de desarrollo de un país. Por lo tanto, son necesarias actuaciones para asegurar, en todos los países, que los costos no serán mayores que los beneficios de la protección de la propiedad intelectual.

La Asamblea General de la OMPI adoptó la decisión de crear una agenda para el desarrollo. Sin embargo, los Estados Unidos, el Reino Unido y otras naciones industrializadas se opusieron a las propuestas que otorgarían a las empresas de los países en desarrollo un papel preponderante dentro de la OMPI, reconociendo únicamente que este organismo debería conceder una mayor asistencia técnica a los países en desarrollo.[53] En la Asamblea General de la OMPI de octubre de 2005, los miembros acordaron continuar las discusiones.[54]

### *III.3.1 Las tendencias en la protección por patente de productos nanotecnológicos*

Las mayores empresas transnacionales del mundo, los laboratorios académicos líderes y las empresas incipientes (*start-up*) de nanotecnología se apresuran para hacerse con el monopolio del colosal mercado de la nanotecnología. Un estudio llevado a cabo por la Universidad de Arizona y la National Science Foundation (Fundación Nacional de Ciencia) de los Estados Unidos descubrió que sólo en 2003 la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos concedió 8.630 patentes relacionadas con la nanotecnología, lo que representa un incremento del 50 % entre 2000 y 2003 (en comparación con

---

[52] La Declaración, traducida a seis lenguas, puede encontrarse en el sitio web de Consumer Project on Technology: http://www.cptech.org/ip/wipo/genevadeclaration.html

[53] William New: "Nations Clash On Future Of WIPO Development Agenda", *Intellectual Property Watch*, 11 de abril de 2005. Disponible en Internet: http://www.ip-watch.org

[54] La decisión de la OMPI está disponible en Internet: http://www.cptech.org/ip/wipo/wipo10042004.html

cerca del 4 % para las patentes en todos los campos de la tecnología). Los cinco países más representados fueron: los Estados Unidos (5.228 patentes), Japón (926), Alemania (684), Canadá (244) y Francia (183). Las cinco entidades que consiguieron más patentes relacionadas con la nanotecnología incluían cuatro empresas multinacionales de la electrónica y una universidad: IBM (198 patentes), Micron Technologies (129), Advanced Micro Devices (128), Intel (90) y la Universidad de California (89).[55]

Según los analistas de la industria, muchas patentes amplias de materiales, instrumentos y procedimientos relacionados con la nanotecnología han sido otorgadas demasiado pronto y con demasiada frecuencia. En 2002, Nanotechnology Business Alliance, un grupo de comercio industrial basado en los Estados Unidos, ya lo advirtió en declaraciones ante el Congreso de los Estados Unidos: «… a varias de las primeras patentes de nanotecnología se les ha otorgado una cobertura tan amplia que la industria se encuentra potencialmente en peligro real de experimentar innecesarias ralentizaciones jurídicas.»[56]

Más recientemente, los analistas de la industria nanotecnológica observan que la «euforia por patentar» en los Estados Unidos, combinada con la incapacidad de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos para gestionar una avalancha de solicitudes de patentes, ha dado como resultado «el rechazo de reivindicaciones válidas, la expresión de reivindicaciones amplias y solapadas, y un panorama de la propiedad intelectual fragmentado y en cierto modo caótico». Los autores advierten: «Estos controles de la propiedad intelectual podrían retardar gravemente el desarrollo de la nanotecnología».[57] Muchos expertos en propiedad intelectual de los Estados Unidos predicen que los litigios relativos a patentes de nanotecnología a gran escala serán inevitables. A causa del gran número de patentes coincidentes y contradictorias que se conceden, las empresas de nanotecnología deben estar preparadas para defender enérgicamente sus patentes ante los tribunales. En la mayoría de disputas de patentes, se impondrán las empresas más grandes, y no las más innovadoras. Según los autores Josh Lerner y Adam Jaffe: «la empresa con los mejores abogados o la mayor capacidad de soportar el riesgo de la litigación ganará la guerra de la innovación, en lugar de la empresa con los científicos más brillantes o las ideas más originales y valiosas.»[58]

En octubre de 2004, la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos elaboró una nueva clasificación para las patentes de nanotecnología – la clase 977 – que sirve como remisión para ayudar a los examinadores, entre otros, a buscar trabajos anteriores. Antes de que existiera la clase 977, los examinadores se apoyaban en búsquedas de palabras clave para encontrar la información relevante y las patentes relacionadas.[59] Como lo ha definido dicha oficina, las patentes de nanotecnología de la clase 977 deben cumplir los siguientes criterios:

- Estar relacionadas con la investigación y el desarrollo de la tecnología en la escala de longitudes de aproximadamente 1-100 nm por lo menos en una dimensión.

---

[55] Zan Huang y otros: "International nanotechnology development in 2003: Country, institution and technology field analysis based on US PTO patent database", *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 6, n° 4, 325-354, 2004.

[56] Mark Modzelewski, director ejecutivo, NanoBusiness Alliance, 17 de septiembre de 2002, en declaraciones al Congreso de los Estados Unidos.

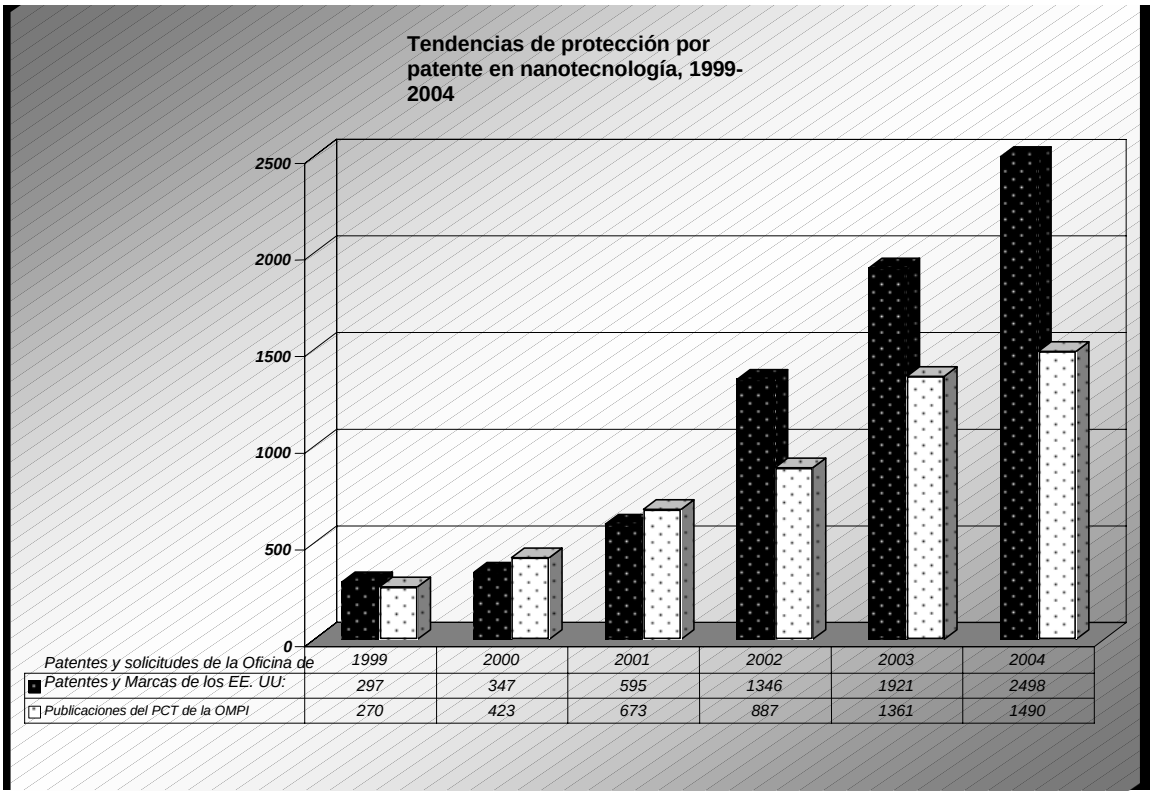
[57] John C. Miller, Ruben Serrato, Jose Miguel Represas-Cardenas, Griffith Kundahl: *The Handbook of Nanotechnology: Business, Policy and Intellectual Property Law*, John Wiley & Sons, 2005, p. 65.

[58] Adam B. Jaffe y Josh Lerner: *Innovation and its Discontents: How Our Broken Patent System is Endangering Innovation and Progress, and What to Do About It*, Princeton University Press, Princeton, 2004, p. 6.

[59] Juliana Gruenwald: "Patent office struggles to stay ahead of nanotech industry," *Small Times*, en línea, 20 de abril de 2004. Disponible en Internet: http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7743

- Proporcionar un entendimiento fundamental de los fenómenos y los materiales a nanoescala y crear y usar estructuras, dispositivos y sistemas que tengan propiedades y funciones novedosas que dependan del tamaño.[60]

**Gráfico 1**
**Tendencias de la protección por patente en nanotecnología, 1999-2004**




### *III.3.2 Patentes de los componentes básicos y herramientas fundamentales de la nanotecnología*

Mark Lemley, profesor de derecho de la Universidad de Stanford, afirma que la nanotecnología «es el primer nuevo campo en un siglo en el que las personas han empezado a patentar las ideas básicas desde el principio».[61] A diferencia de la mayoría de las grandes tecnologías instrumentales del siglo XX (como el *hardware* y los programas informáticos, Internet e incluso la biotecnología), escribe Lemley, las ideas más básicas y los componentes fundamentales de la nanotecnología «ya se han patentado o lo acabarán siendo».[62]

---

[60] La definición de clases de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos está disponible en línea: http://www.uspto.gov/web/patents/classification/ uspc977/defs977.htm

[61] Mark A. Lemley, profesor de derecho William H. Neukom, Universidad de Stanford: *Patenting Nanotechnology*, manuscrito sin publicar, enviado al Grupo ETC por el autor, marzo de 2005, p. 1.

[62] Ibídem, p. 14.

En el ruedo de la nanotecnología, no se trata simplemente de la oportunidad de patentar las herramientas instrumentales más básicas, sino de la habilidad de patentar los mismos nanomateriales, los productos en los que se usan y los métodos para fabricarlos. En la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos, por ejemplo, existen tres tipos principales de solicitudes de patentes:[63]

1) Solicitudes relativas a la composición de la materia (es decir, nanomateriales como los nanotubos, los nanoalambres y las nanopartículas).

2) Solicitudes relativas a dispositivos, aparatos o sistemas (incluidas, por ejemplo, las herramientas que se utilizan para caracterizar y controlar los nanomateriales, o los dispositivos que incorporan nanomateriales).

3) Las solicitudes relativas a métodos (procedimientos para sintetizar nanomateriales o crear dispositivos a nanoescala).

Los nanomateriales son elementos o compuestos químicos de un tamaño menor a 100 nm. Aprovechando la física cuántica, las empresas de nanotecnología crean de forma artificial nuevos materiales que puedan tener propiedades totalmente nuevas, no encontradas nunca antes en la naturaleza. Como se ha comentado anteriormente, las «materias primas» para crear nanomateriales y dispositivos son los elementos químicos de la tabla periódica, los componentes básicos de *todo*, tanto de lo vivo como de lo inerte. Mientras que las patentes de biotecnología se solicitan para productos y procedimientos biológicos, es posible que las patentes de nanotecnología literalmente se soliciten para elementos químicos, así como para los compuestos y los dispositivos que los incorporan. Con las tecnologías de nanoescala, no se trata únicamente de las patentes de la vida, sino de toda la naturaleza. En pocas palabras, la fabricación a nivel atómico proporciona nuevas oportunidades para eliminar el control monopolístico tanto de la materia animada como de la inanimada. Esencialmente, el patentado a nanoescala podría significar la monopolización de los elementos básicos que hacen posible la vida.

Las patentes monopolísticas exclusivas de los elementos químicos no son nuevas. Glenn Seaborg, físico galardonada en 1951 con el premio Nobel, registró en los Estados Unidos la patente No. 3.156.523 para el elemento químico llamado americio (*Americium*, elemento No. 95 de la tabla periódica) el 10 de noviembre de 1964. La patente de Seaborg es conocida por haber presentado la solicitud de patente más corta de la historia: «Se solicita el elemento 95». El segundo elemento patentado por Seaborg fue el curio (*Curium*, No. 96), la patente de los Estados Unidos No. 3.161.462 otorgada el 15 de diciembre de 1964.

«Es cierto que uno no puede patentar un elemento encontrado en su forma natural; sin embargo, si se crea una forma purificada que tenga aplicaciones industriales, por ejemplo el neón, seguro que puede garantizarse la patente.» – Lila Feisee, directora en la Organización Industrial de Biotecnología para Relaciones Gubernamentales y Propiedad Intelectual.

Cuando Charles Lieber, de la Universidad de Harvard, obtuvo una patente clave (patente estadounidense No. 5.897.945) para las nanovarillas de óxido de metal a nanoescala, no reivindicó las nanovarillas compuestas de un solo tipo de metal, sino que reclamó el óxido de metal seleccionado de entre hasta 33 elementos químicos. Las reivindicaciones de Harvard respecto a las nanovarillas incluyen aquellas que constan de titanio, zirconio, hafnio, vanadio, niobio, tantalio, cromo, molibdeno,

[63] Lux Research Inc.: *The Nanotech Report 2004*, volumen 1, 2004, p. 242.

tungsteno, manganeso, tecnecio, renio, hierro, osmio, cobalto, níquel, cobre, zinc, cadmio, escandio, itrio, lantano, la serie del lantano, boro, galio, indio, talio, germanio, estaño, plomo, magnesio, calcio, estroncio y bario. En una sola patente, las reivindicaciones de Lieber se extendían a casi una tercera parte de los elementos químicos de la tabla periódica, abarcando 11 de los 18 grupos. Los abogados de patentes han identificado la patente de Harvard (respecto de la cual se concedió una licencia a Nanosys, Inc.) como una de las diez patentes principales que podrían influenciar el desarrollo de la nanotecnología.[64]

De forma similar, una patente clave relativa a nanocristales semiconductores (puntos cuánticos) cuya titular es la Universidad de California (y respecto de la cual se otorgó una licencia a Nanosys, Inc. y Quantum Dot Corp.) reivindica las nanopartículas semiconductoras de los elementos de los grupos III-V de la tabla periódica. Las reivindicaciones de la patente de Estados Unidos No. 5.505.928 se extienden al boro, aluminio, galio, indio, nitrógeno, fósforo, arsénico, antimonio, así como los compuestos semiconductores que resultan de la combinación de los elementos de los grupos III-V (como el arseniuro de galio).

### *III.3.3 Reivindicaciones de patentes en multiplicidad de industrias*

La nanotecnología no sólo es interdisciplinaria, sino que, además, una única innovación a nanoescala puede tener aplicaciones diversas que se extienden a múltiples sectores de la industria. Mark Lemley, de la Facultad de Derecho de Stanford, observa: «un importante número de titulares de patentes no sólo adquirirán derechos en la industria en la que participan, sino también en otras.»[65]

Consideremos los siguientes ejemplos de la clase 977 de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (patentes identificadas como patentes de nanotecnología):

- Patente No. 5.874.029 – Universidad de Kansas, 23 de febrero de 1999: Métodos para la micronización de partículas y la nanonización por recristalización de soluciones orgánicas pulverizadas en un antidisolvente comprimido. ***La invención puede usarse en las industrias farmacéutica, alimentaria, química, electrónica, de catalizadores, de polímeros, de pesticidas, de explosivos y de revestimientos, ya que todas precisan partículas de diámetro pequeño.***

- Patente No. 6.667.099 – Creavis Gesellschaft für Technologie und Innovation mbH, 23 de diciembre de 2003: Mesotubos y nanotubos. La invención consiste en mesotubos y nanotubos (fibras huecas) con un diámetro interior de 10 nm-50 µm y en un método para la producción de los mismos. ***Las fibras huecas se usan en la tecnología de la separación, la catálisis, la microelectrónica, la tecnología médica, la tecnología de materiales o en la industria de la confección.***

- Patente No. 6.641.773 – Los Estados Unidos, representados por el Ministro de Defensa, 11 de noviembre de 2004. Electrohilado de filamentos de polímero con un diámetro submicrónico. Un proceso de electrohilado que produce filamentos de polímero de diámetro nanométrico... ***El filamento es sobre todo útil para tejer armaduras, ropa protectora de agentes químicos biológicos, como un apoyo biomédico para el crecimiento de tejido, para la fabricación de microcoladores y para la fabricación de componentes microelectrónicos.***

---

[64] Steve Maebius: "Ten Patents that Could Impact the Development of Nanotechnology", artículo aparecido en Lux Research, Inc., *The Nanotech Report 2004*, p. 242-247.
[65] Lemley, p. 1.

La razón por la que la misma invención puede usarse dentro del cuerpo humano, en la confección y en computadoras (como se ha ilustrado en el tercer ejemplo anterior) es que, a nivel molecular, puede integrarse tanto material biológico como no biológico. Todavía debe determinarse mediante investigaciones toxicológicas si se trata de una integración perfecta.

### *III.3.4 Patentes de nanobiotecnología*

Mientras que las materias primas de la biotecnología son biológicas, las nanotecnologías suponen la manipulación tanto de materias vivas como inertes, a veces en combinación. Cuando éste es el caso, la disciplina se conoce bajo el nombre de nanobiotecnología. Un material nanoestructurado, usado dentro del cuerpo humano como sustituto de un hueso, es un ejemplo de nanobiotecnología, de la misma forma que un organismo híbrido creado a partir de materias vivas e inertes, tales como la silicona a nanoescala y los híbridos de tejido muscular presentados por los investigadores a principios de 2005.[66] Un nuevo campo, estrechamente relacionado y a veces coincidente con el de la nanobiotecnología, es el de la biología sintética, en la que los sistemas vivos se construyen a medida y a continuación se programan para llevar a cabo tareas específicas. A menudo, éstas también combinan partes biológicas y no biológicas. Las patentes de los productos de la nanobiotecnología dan la oportunidad de monopolizar los elementos que constituyen los componentes básicos de la totalidad del mundo natural, aportando una dimensión totalmente nueva a la noción de «protección por patente de la vida».

**Cuadro 1**
**Muestra de patentes recientes de nanobiotecnología o biología sintética**

| **Inventor** | **Patente/ No de solicitud** | **Fecha de publicación** | **Descripción** |
|---|---|---|---|
| Carlo Montemagno, UCLA, Estados Unidos [1] | US20040101819A1 | 27 de mayo de 2004 | Microdispositivos propulsados por fuerza muscular autoensamblados |
| Carlo Montemagno, UCLA, Estados Unidos [2] | US20040049230A1 | 11 de marzo de 2004 | Membranas biomiméticas |
| Angela Belcher, MIT, Estados Unidos | US20030113714A1 | 19 de junio de 2003 | Control biológico de nanopartículas |
| Angela Belcher, MIT, Estados Unidos | US20030073104A1 | 17 de abril de 2003 | Producción a medida a nanoescala de materiales híbridos mediante el uso de virus creados genéticamente a mesoescala |
| Steven Benner, UF-Gainesville | US6617106 | 09 de septiembre de 2003 | Métodos para preparar oligonucleótidos que contengan nucleótidos no estándar |
| James J. Collins, Cellicon Technologies, Estados Unidos | US6841376 | 11 de enero de 2005 | Flip-flop de conmutación genético biestable |
| Timothy McKnight, Oak Ridge National Laboratory | US20040197909A1 | 07 de octubre de 2004 | Abastecimiento macromolecular paralelo e interfaz bioquímica/electroquímica para células que emplean nanoestructuras |

[66] Roland Pease: "'Living' robots powered by muscle", BBC News, 17 de enero de 2005. Disponible en Internet: http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/1/hi/sci/tech/4181197.stm

El cuadro anterior proporciona ejemplos de la potencial variedad de patentes de nanobiotecnología y de biología sintética concedidas recientemente por la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos. Incluye, por ejemplo: dispositivos híbridos que combinan un nanomaterial y tejido muscular, que generan energía eléctrica y que el inventor ha descrito como «totalmente vivos»[67] (Montemagno [1]); membranas hechas de materiales biológicos y no biológicos para uso en la producción de electricidad o purificación del agua (Montemagno [2]); un método para controlar las propiedades de nanopartículas semiconductoras mediante su creación con la ayuda de material biológico (Belcher); pares de bases de ADN sintético que no se encuentran en la naturaleza (Benner); un método para modificar genéticamente células pinchándolas con «agujas» de nanotubos de carbono e inyectando ADN foráneo (McKnight); un interruptor de genes que utiliza «agentes de conmutación» para controlar la expresión genética mediante su encendido y apagado.

### *III.3.5 Papel de las universidades públicas en la propiedad intelectual de productos nanotecnológicos*

Según Mark Lemley, una de las características únicas de la nanotecnología es que las universidades y las fundaciones de investigación públicas son titulares de «un porcentaje extremadamente desproporcionado de patentes de nanotecnología», que él considera importantísimas para generalizar los productos nanotecnológicos.

En 2004, un abogado de patentes especializado en nanotecnología identificó 10 patentes clave en los Estados Unidos que consideró podrían tener repercusiones importantísimas en el desarrollo de la nanotecnología. Las universidades son titulares de 7 de las 10 patentes.[68]

Dado que llevan a cabo investigaciones básicas, no es sorprendente que las universidades hayan sido el motor precoz de la nanotecnología. Pero a diferencia de los primeros investigadores de hace 25 años, la nueva generación de investigadores financiados con dinero público de los Estados Unidos se han convertido en «titulares de patentes sumamente agresivos», sobre todo a causa de la Ley Bayh-Dole de 1980, una ley estadounidense diseñada para alentar la transferencia de tecnología que permite a las universidades patentar sus proyectos de investigación financiados con fondos federales. Antes de 1980, se concedían a las universidades de todo el mundo unas 250 patentes estadounidenses al año. En 2003, el número de patentes cuyos titulares son universidades ha aumentado casi 16 veces, hasta llegar a 3.933.[69]

Desde 2003 hasta principios de 2005, la revista *Nanotechnology Law & Business Journal* identificó 55 contratos de licencia de patentes de nanotecnología anunciados públicamente, 20 de los cuales incluían a una universidad o entidad de investigación pública como cedente de la licencia. De los 20 contratos de licencia que incluían a Universidades o entidades de investigación como cedentes de la licencia, todos, excepto uno, fueron otorgados en condiciones de exclusividad (condiciones que, además, no se divulgaron).

Una evaluación temprana de la propiedad intelectual de la nanotecnología indica que para los países en desarrollo será importante vigilar las tendencias de la propiedad intelectual y sus potenciales repercusiones en la transferencia y el comercio de tecnología. Aunque los analistas de la industria suelen afirmar que la nanotecnología se encuentra en pañales, los «haces de patentes» relativos a los materiales, las herramientas y los procedimientos fundamentales a nanoescala se convierten en barreras espinosas para los futuros innovadores. Teniendo en cuenta que se trata de patentes

---

[67] Ibídem.

[68] Steve Maebius: "Ten Patents that Could Impact the Development of Nanotechnology", artículo aparecido en Lux Research, Inc., *The Nanotech Report 2004*, p. 242-247.

[69] Mark A. Lemley, p. 19.

*fundacionales*, es decir, invenciones que constituyen grandes e influyentes avances sobre cuya base se desarrollarán más tarde nuevas innovaciones, los investigadores de los países en desarrollo podrían quedar relegados. Es probable que los investigadores en el Sur se encuentren con que la participación en la «revolución nanotecnológica» esté muy restringida por los peajes de patentes, obligándoles a pagar regalías y tasas de licencia para conseguir el acceso.[70]

[70] ETC Group: *Nanotech's Second Nature Patents: Implications for the Global South*, junio de 2005. En Internet: http://www.etcgroup.org

## IV. POTENCIALES REPERCUSIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA PARA LOS PAÍSES EN DESARROLLO DEPENDIENTES DE PRODUCTOS BÁSICOS

«No existe artefacto humano alguno que fabriquemos que no vaya a depender finalmente de los descubrimientos que se realizan en la actualidad en los laboratorios... Las consecuencias a largo plazo de [la nanotecnología] van a ser realmente transformadoras. El problema es que no se pueden predecir los detalles de cómo va a ser el mundo.» – Thomas Theis, Jefe de investigación de ciencias físicas de IBM Corporation, *The Washington Post*, 22 de febrero de 2004.

Las repercusiones del potencial de la nanotecnología en la economía mundial son impresionantes. Un informe de 2005 de la Universidad de las Naciones Unidas, *State of the Future*, advierte de que la introducción acelerada de nuevas tecnologías, incluida la nanotecnología, está superando la capacidad de los Gobiernos de comprenderlas.[71] Los nuevos materiales creados artificialmente por nanoingeniería podrían significar que los fabricantes industriales contarán con numerosas opciones de materias primas, lo que abre la posibilidad de revolucionar los mercados tradicionales de productos básicos. Las nuevas plataformas de fabricación basadas en un enfoque «de abajo hacia arriba» podrían conllevar una reducción drástica de la cantidad de materias primas requeridas. Las tecnologías de nanoescala podrían convertir en irrelevantes la geografía, las materias primas e incluso la mano de obra. En el resto de este informe se consideran las posibles repercusiones con más profundidad.

Richard Smalley, químico galardonado con el premio Nobel, predijo que las «repercusiones de la nanotecnología sobre la salud, la riqueza y la vida de las personas serán como mínimo equivalentes a las influencias combinadas de la microelectrónica, la visualización de imágenes médicas, la ingeniería asistida por computadora y los polímeros artificiales».[72] Otros creen que las repercusiones de la nanotecnología superarán aquellas introducidas por el motor a vapor, la electricidad, el transistor e Internet. [73]Otros, como Phillip Bond, Subsecretario estadounidense de Comercio para la Tecnología, consideran las potenciales repercusiones de la nanotecnología como «realmente milagrosas: permiten ver a los ciegos, andar a los cojos, oír a los sordos; curar el sida, el cáncer, la diabetes y otras dolencias, acabar con el hambre, e incluso complementar el poder de nuestras mentes... la nanotecnología favorecerá estándares de vida más altos y nos permitirá vivir más tiempo, con vidas más saludables y productivas. La nanotecnología también ofrece un extraordinario potencial para el medio ambiente mundial gracias a procesos de producción libres de residuos y con un gasto eficiente de la energía, que no provocan daños al medio ambiente ni a la salud humana.»[74] Incluso si

---

[71] United Nations University: *The State of the Future* 2005, United Nations University Millennium Project, 28 de junio de 2005, véase http://www.acunu.org/millennium/

[72] Declaraciones ante el Congreso: "Nanotechnology: Prepared Written Statement and Supplemental Material of R. E. Smalley", Rice University, 12 de mayo de 1999; disponible en Internet: http://www.house.gov/science/smalley_062299.htm

[73] Thomas A. Kalil, dirigiéndose en el prólogo a John C. Miller, Ruben Serrato, José Miguel Represas-Cardenas, Griffith Kundahl: *The Handbook of Nanotechnology: Business, Policy and Intellectual Property Law*, John Wiley & Sons, 2005 p. xi. Kalil fue consejero de ciencia y tecnología en la administración Clinton.

[74] Observaciones de Phillip J. Bond, subsecretario de Comercio para la Tecnología, Departmento de Comercio estadounidense, pronunciadas el 9 de septiembre de 2003 en el Congreso Mundial de Nanoeconomía, The Fairmont Hotel, Washington, DC.

exageráramos, es probable que la nanotecnología provoque trastornos drásticos y globales en varios sectores industriales.

«En pocas palabras, el mundo está a punto de ser reconstruido (y mejorado) a partir del átomo. Eso significa que se gastarán decenas de billones de dólares en todo tipo de cosas: ropa, comida, automóviles, vivienda, medicamentos, dispositivos de comunicación y entretenimiento, la calidad del aire que respiramos y el agua que bebemos... todo sufrirá un cambio profundo y fundamental. Y, como resultado, también lo harán las estructuras sociales y económicas del mundo. La nanotecnología sacudirá todos los aspectos del planeta.» – Josh Wolfe, editor del informe sobre nanotecnología Forbes/Wolfe.

En los últimos años, se ha escrito mucho sobre el potencial de la nanotecnología para mejorar las condiciones de las poblaciones pobres y marginadas en el mundo en desarrollo.[75] El Grupo Especial sobre ciencia, tecnología e innovación del Proyecto del Milenio de la ONU, por ejemplo, identifica la nanotecnología como una herramienta importante para dar respuesta a la pobreza y alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas. En particular, la investigación de nanotecnología destinada a dar respuesta a los problemas energéticos y del agua se cita a menudo para ilustrar las potenciales contribuciones de la nanotecnología a la sostenibilidad medioambiental y al desarrollo humano.[76]

## IV.1 ¿Dará la nanotecnología respuesta a las necesidades de desarrollo humano en el mundo en desarrollo?

Estudios recientes (2005) examinan el papel potencial de la nanotecnología en el mundo en desarrollo y, en particular, el posible uso de las tecnologías de nanoescala para dar respuesta a las necesidades de las poblaciones pobres y marginadas. Fabio Salamanca-Buentello y sus colegas del Joint Centre for Bioethics (Centro Común para la Bioética) de la Universidad de Toronto, Canadá, encuestaron a 63 científicos expertos en nanotecnología en el Sur y en el Norte para identificar y clasificar las 10 aplicaciones de nanotecnología con más probabilidades para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio.[77] Los autores concluyen que la nanotecnología puede aprovecharse para «dar respuesta a algunos de los problemas de desarrollo más graves del mundo», y defienden la creación de una nueva iniciativa de financiación global para acelerar el uso de la nanotecnología a fin de afrontar los desafíos de desarrollo sostenible más importantes.

---

[75] *Véase*, por ejemplo, Gordon Conway: "Minutes of Evidence to House of Commons Select Committee on Science and Technology", Reino Unido, 23 de marzo de 2005, http://www.publications.parliament.uk/pa/cm200405/cmselect/cmsctech/487/5032303.htmy Mohamed H. A. Hassan: "Nanotechnology: Small Things and Big Changes in the Developing World", *Science*, vol. 309, n° 5731, pp. 65-66, 1 de Julio de 2005

[76] Fabio Salamanca-Buentello, Deepa L. Persad, Erin B. Court, Douglas K. Martin, Abdallah S. Daar, Peter A. Singer: "Nanotechnology and the Developing World", 12 de abril de 2005. Para información sobre nanotecnología y los Objetivos de Desarrollo del Milenio de la ONU, *véase* Calestous Juma y Lee Yee-Cheong, autores principales: "Innovation: applying knowledge in development", UN Millennium Project Task Force on Science, Technology, and Innovation, 2005, p. 69 y sig.

Salamanca-Buentello F, Persad DL, Court EB, Martin DK, Daar AS y otros: "Nanotechnology and the Developing World", 2005, PLoS Med 2(5): e97. En Internet: http://medicine.plosjournals.org/perlserv/?request=get-document&doi=10.1371/journal.pmed.0020097

Noela Invernizzi (UNICAMP, Brasil) y Guillermo Foladori (UNAM, México) ofrecen una perspectiva distinta en la revista *Nanotechnology Law & Business Journal*.[78] Llegan a la conclusión de que: «para poder satisfacer las necesidades de los pobres, la tecnología debe usarse en un contexto socioeconómico favorable.» En respuesta directa a Salamanca-Buentello et al., Invernizzi y Foladori escriben:

«Pese a las valoraciones optimistas ofrecidas recientemente, la experiencia sugiere que la nanotecnología podría seguir las tendencias económicas dominantes, que aumentan la desigualdad. En primer lugar, el desarrollo de la nanotecnología se enfrenta a muchos de los mismos problemas ante los que se encontraron los desarrollos tecnológicos anteriores, porque las grandes multinacionales patentan la mayoría de los productos nanotecnológicos. Las patentes son garantías monopolísticas de beneficios durante 20 años, algo que ciertamente actúa contra la rápida difusión de los potenciales beneficios de esta tecnología a favor de los pobres.»[79]

Donald Maclurcan, un investigador del Institute for Nanoscale Technology (Instituto para la Tecnología de Nanoescala) en Sydney, Australia, publicó recientemente dos artículos sobre el compromiso de los países en desarrollo con la nanotecnología.[80] Maclurcan concluye:

«En términos generales, hay signos alentadores de que determinados países en desarrollo podrían desempeñar un papel importante en el desarrollo global de la nanotecnología. Sin embargo, en vistas del aumento de obstáculos del mercado y de la participación limitada del país a varios niveles, los primeros síntomas son que la nanotecnología fomentará una mayor brecha tecnológica a escala mundial.»[81]

### *IV.1.1 Nanoagua*

Hoy en día, más de mil millones de personas carecen de acceso al agua potable segura. El agua contaminada provoca cada año la muerte de unos 15 millones de niños menores de cinco años. Los investigadores desarrollan nanofiltros y nanopartículas creadas artificialmente para limpiar el agua contaminada.[82] Por ejemplo:

- Los nanotecnólogos del Rensselaer Polytechnic Institute (Troy, Nueva York) y de la Universidad Banaras Hindu (Varanasi, India) están en proceso de asociarse para desarrollar filtros de nanotubos de carbono para eliminar los contaminantes del agua. Los filtros permiten que las moléculas del agua pasen a través de un grupo de nanotubos de carbono, a la vez que atrapan bacterias dañinas, como la E. Coli y poliovirus de hasta un tamaño de 25 nanómetros de amplitud. Su objetivo es desarrollar un filtro de agua de bajo costo que pueda limpiarse y reutilizarse.[83]
- Con financiación de la división de la fuerza aérea estadounidense, la empresa Seldon Technologies, con sede en Vermont, desarrolla un filtro portátil y de mano que puede purificar rápidamente el agua de cualquier fuente (de un charco de lodo, de un río o de

---

[78] Noela Invernizzi y Guillermo Foladori: "Nanotechnology and the Developing World: Will Nanotechnology Overcome Poverty or Widen Disparities?", *Nanotechnology Law & Business Journal*, vol. 2, n° 3, 2005.
[79] Ibídem.
[80] Donald C. Maclurcan: "Nanotechnology and Developing Countries, Part 2: What Realities?" *AZoNano – Online Journal of Nanotechnology*, 19 de octubre de 2005. En Internet: http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1429
[81] Ibídem.
[82] William J. Broad: "With a Push From the U.N., Water Reveals its Secrets", *New York Times*, 26 de julio de 2005, p. D1.
David Cotriss: "Nanofilters", *Technology Review*, noviembre de 2004, p.

aguas subterráneas) y limpiarla lo bastante como para usarla en el campo de batalla para tratamientos médicos de urgencia. La empresa afirma que su filtro prototipo patentado, también basado en la tecnología de los nanotubos de carbono, constituye «una barrera absoluta contra el paso de contaminantes microbianos».[84]

- En países como Bangladesh, el arsénico que se produce de forma natural en los pozos es una amenaza importante a la salud pública, que se calcula afecta a entre un 10 y 20 % de la población de este país. Los investigadores del Centro para la Nanotecnología Biológica y Medioambiental de la Universidad Rice desarrolla nanocristales de magnetita (óxido de hierro) para capturar y eliminar el arsénico del agua contaminada. En la Universidad Estatal de Oklahoma, químicos experimentan con el uso de nanopartículas de óxido de zinc para limpiar el agua de arsénico.

La investigación en las aplicaciones de las tecnologías de nanoescala para mejorar el acceso a agua limpia puede tener resultados beneficiosos. Sin embargo, deben examinarse a conciencia las potenciales repercusiones para la salud y el medio ambiente antes de introducir cualquier aplicación. Por ejemplo, la Royal Society and Royal Academy of Engineering (Real Sociedad y Real Academia de Ingeniería) del Reino Unido ha recomendado que se prohíba el uso de nanopartículas creadas artificialmente en el saneamiento de aguas subterráneas hasta que se hayan clarificado las repercusiones toxicológicas y medioambientales.[85] La cuestión de la propiedad intelectual también desempeñará un papel importante para determinar en qué medida las innovaciones nanotecnológicas destinadas al saneamiento del agua serán accesibles para las comunidades con rentas bajas.

### *IV.1.2 Nanoenergía*

El acceso a fuentes de energía baratas, seguras y renovables es la clave para el desarrollo sostenible en todo el mundo. En el mundo en desarrollo, se calcula que unos 2.000 millones de personas carecen de acceso a fuentes de energía modernas. Las células solares baratas, flexibles y eficientes suelen destacarse como los elementos más prometedores de la *nanotecnología verde*.[86]

En 2004, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos concedió más de 18 millones de dólares de EE. UU. a tres empresas incipientes (*start-up*) de nanotecnología para desarrollar aplicaciones militares de energía solar. Con el apoyo adicional de socios empresariales y capitalistas de riesgo, Nanosys (Palo Alto, CA), NanoSolar (Palo Alto, CA) y Konarka (Lowell, MA) desarrollan una nueva generación de células solares livianas y flexibles, basadas en nanopartículas semiconductoras.[87] Los nanomateriales inorgánicos que, como los puntos cuánticos, absorben un amplio espectro de luz, se imprimen en grandes láminas de metal, que pueden estirarse como envoltorios de plástico sobre los tejados, lo que permite que viviendas y edificios de oficinas generen su propia energía. NanoSolar desarrollo también una pintura semiconductora que podría permitir la aplicación sobre cualquier superficie de células solares accionadas por nanotecnología.

---

[84] Matt Kelly: "Vermont's Seldon Labs wants to keep soldiers' water pure", *Small Times*, 26 de abril de 2004. En Internet: http://smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7764.
*Véase* también: http://www.seldontechnologies.com/products/

[85] CBEN: "Sorption of Contaminants onto Engineered Nanomaterials", en el sitio web de CBEN: http://cohesion.rice.edu/centersandinst/cben/research.cfm?doc_id=5100; Liz Kalaugher: "Nanoparticles clean up arsenic", *nanotechweb.org*, 25 de mayo de 2004. Royal Society and Royal Academy of Engineering. *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*, julio de 2004.

[86] Anónimo: "Nanotech vs. the Green Gang", *Forbes/Wolfe Nanotech Report*, marzo de 2005, p. 4.

[87] Paul Carlstrom: "As solar gets smaller, its future gets brighter", San Francisco Chronicle, 11 de julio de 2005.

Además de la investigación actual relacionada con el agua y la energía, los defensores de la nanotecnología destacan los futuros beneficios medioambientales de los revolucionarios procesos de fabricación asociados con la construcción de abajo hacia arriba «que no genera ningún tipo de materias residuales».[88]

## IV.2 ¿Qué papel desempeñan en la actualidad los países en desarrollo en la I+D en materia de nanotecnología?

Varios países en desarrollo participan activamente en la I+D en nanotecnología y apoyan las iniciativas de nanotecnología nacionales. Según un sondeo reciente publicado por Maclurcan, 62 países, 18 de los cuales están clasificados como «de transición» y 19 «en desarrollo», están comprometidos en la actualidad con la nanotecnología a escala nacional. Otros 16 países más llevan a cabo investigaciones individuales o en grupo en materia de nanotecnología, 3 de los cuales se caracterizan como de transición y 12 en desarrollo [incluido 1 clasificado como país menos adelantado PMA)]. Otros 14 países más han expresado interés por emprender actividades de investigación en nanotecnología. De estos países, 1 se clasifica como de transición y 13 en desarrollo, incluidos 3 PMA. Las conclusiones de Maclurcan se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 2**
**Distribución mundial de la actividad nanotecnológica por país y clasificación**

| Menos adelantado | En desarrollo | De transición | Desarrollado |
|---|---|---|---|
| **Actividad o financiación nacional** | | | |
| | Argentina; Armenia; Brasil; Chile; China; Costa Rica; Egipto; Georgia; India; Irán; México; Malasia; Filipinas; Serbia y Montenegro; Sudáfrica, Tailandia, Turquía; Uruguay; Viet Nam | Bielorrusia; Bulgaria; Chipre; República Checa; Estonia; Hong Kong; China; Hungría; Israel; Letonia; Lituania; Polonia, Rumania; la Federación Rusa; Singapur; República Eslovaca; Eslovenia; República de Corea; Ucrania | Australia; Austria; Bélgica; Canadá; Dinamarca; Finlandia; Francia; Alemania; Grecia; Islandia; República de Irlanda; Italia; Japón; Luxemburgo; Países Bajos; Nueva Zelanda; Noruega; Portugal; Puerto Rico; España; Suecia; Suiza; Taiwán, Provincia de China; Reino Unido; Estados Unidos de América |

[88] Anónimo: “Nanotech vs. the Green Gang”, *Forbes/Wolfe Nanotech Report*, marzo de 2005, p. 4.

| **Investigación individual o en grupo** | | | |
|---|---|---|---|
| Bangladesh | Botswana; Colombia; Croacia; Cuba; Indonesia; Jordania; Kazajstán; Moldova; Pakistán; Uzbekistán; Venezuela | Macao (China); Malta; Emiratos Árabes Unidos | Liechtenstein |
| **Países interesados** | | | |
| Afganistán; Senegal; Tanzania | Albania; Bosnia y Herzegovina; Ecuador; Ghana; Kenia; Líbano; Macedonia; Sri Lanka; Swazilandia; Zimbabwe | Brunei Darussalam | |

Fuente: Donald C. MacLurcan: *Nanotechnology and Developing Countries: What Realities?*, *Online Journal of Nanotechnology*, 19 de octubre de 2005. http://www.azonano.com/Details.asp? ArticleID=1429

## IV.3 Repercusiones en el comercio y los mercados de productos básicos

Mientras los Gobiernos, la industria y los científicos en los países de la OCDE se apresuran a destacar las potenciales contribuciones de las nanotecnologías en el Sur, las potenciales repercusiones perjudiciales de la nanotecnología en las economías en desarrollo, sobre todo en las economías dependientes de productos básicos, han recibido menor atención. En el primer diálogo Norte-Sur sobre la nanotecnología, patrocinado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial en febrero de 2005, científicos de los países en desarrollo reflexionaron sobre las oportunidades y retos planteados por la ciencia y la tecnología de nanoescala. Aunque gran parte de la discusión se centró en el fomento de la I+D en nanotecnología y la prevención de la *brecha nanotecnológica* entre el Sur y el Norte, los representantes de la India y Sudáfrica advirtieron de que existe el riesgo de que las materias primas y la mano de obra en las economías en desarrollo se conviertan en «algo superfluo en la era de la nanotecnología». Según el Ministro sudafricano de Ciencia y Tecnología: «Con el aumento de la inversión en investigación e innovación en nanotecnología, los materiales más tradicionales... van... a ser reemplazados por [materiales] más baratos, con mayor variedad de aplicaciones y más resistentes. Es importante garantizar que nuestros recursos naturales no se conviertan en superfluos, sobre todo porque nuestra economía todavía depende en gran parte de ellos.» Con el fin de contrarrestar la pérdida potencial de mercados, el Gobierno sudafricano ha iniciado el proyecto Autek para desarrollar nuevos usos industriales para el oro, el mayor producto de exportación de Sudáfrica.[89]

[89] El Diálogo Norte-Sur sobre la Nanotecnología: Desafíos y Oportunidades, 10-12 de febrero de 2005, Trieste, Italia, patrocinado por el Centro Internacional para la Ciencia y la Alta Tecnología (ICS), parte de UNIDO (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial). En la reunión de Trieste, comentarios de Pontsho Maruping, del Science and Engineering Research Council (Consejo de Investigación de Investigación en Ingeniería) de Pretoria, Sudáfrica, y de Roop L. Mahajan, Universidad de Colorado, Boulder. Discurso inaugural del Ministro de Ciencia y Tecnología, Sr. Mosibudi Mangena, en la presentación del informe de situación del proyecto Autek, Centro Internacional de Convenciones de Ciudad del Cabo, 8 de febrero de 2005.

### *IV.3.1 Introducción a las potenciales repercusiones de las nanotecnologías*

Las actividades de I+D en nanotecnología para las bebidas y los productos nanotecnológicos emergentes en el sector textil ofrecen una primera visión de cómo los países en desarrollo dependientes de productos básicos podrían verse afectados por las nanotecnologías en el futuro.

**Bebidas tropicales**

Las actividades de I+D realizadas actualmente en una de las mayores empresas de comidas y bebidas ofrece una visión de las potenciales repercusiones de la nanotecnología en los productos básicos tropicales (en especial en las bebidas). En el año 2000, Kraft Foods, la filial Altria (anteriormente conocida como Phillip-Morris) — valorada en 34.000 millones de dólares de los EE. UU. —, puso en marcha el consorcio NanoteK para desarrollar métodos nanotecnológicos para la fabricación de alimentos.[90] El consorcio incluye a 15 Universidades y laboratorios públicos de investigación. Ninguno de los científicos involucrados en el consorcio es bromatólogo de formación, sino que se trata de un grupo multidisciplinar de químicos moleculares, científicos de materiales, ingenieros y físicos. Kraft y otras empresas utilizan tecnologías de nanoescala para crear *alimentos interactivos* que funcionen según *la petición* del consumidor. Un proyecto del consorcio NanoteK de Kraft consiste en desarrollar nanocápsulas para bebidas: la bebida incolora contendría una docena o más de sabores encapsulados, y las cápsulas estarían diseñadas para explotar a distintas hiperfrecuencias. La idea es que el consumidor sea capaz, basándose en su personalidad, necesidades nutricionales o preferencias de sabor del momento, de elegir qué componentes se activarán y suministrarán, y cuáles permanecerán inactivos. Innumerables nanocápsulas permanecerían intactas (y sin probar), y solamente se activarían los sabores (y colores) deseados. Aunque, en última instancia, este proyecto podría dar respuesta a poco más que un nicho de mercado, el de los productos originales, también podría constituir una nueva tecnología de aromatización de bebidas que podría transformar la industria entera de estos productos. Con la tecnología de los sabores a nanoescala, Kraft espera alcanzar mayor biodisponibilidad (mayor facilidad de absorción por el cuerpo), sabores más frescos y aromas más fuertes.[91] El incremento de la duración de la conservación de alimentos y bebidas es otro objetivo de la formulación de ingredientes a nanoescala.[92] (Los efectos en la salud de los ingredientes inactivos o de las nanocápsulas sin abrir también deberían evaluarse.)

Es demasiado pronto para predecir las repercusiones a largo plazo. Si resulta que sólo se necesitarán cantidades a nanoescala de té, café, cacao o jugos de frutas tropicales para aromatizar las bebidas en el futuro, los mercados de productos básicos podrían verse gravemente afectados. Pese a la imposibilidad de predecir las repercusiones a largo plazo, el proyecto destaca los cambios potenciales en la demanda para los productos básicos convencionales debido a los avances en las tecnologías de nanoescala. En el caso de los productos básicos de bebidas tropicales, una disminución repentina de la demanda podría tener graves consecuencias en los países en desarrollo dependientes de productos básicos. Considérese, por ejemplo, que el café representa el 75 % de las exportaciones totales de Burundi, el 62 % de Etiopía, el 54 % de Uganda y el 24 % de Guatemala; el cacao representa el 36 % de las exportaciones totales de Côte d'Ivoire y el 24 % de Ghana.[93]

---

[90] Elizabeth Gardner: "Brainy Food: academia, industry sink their teeth into edible nano", *Small Times*, 21 de junio de 2002.

[91] Eric Russell: "Foods of Tomorrow: The Nuts and Bolts of Nanoscience", International Food Ingredients, *ifi-online.com*. En Internet: http://www.ifi-online.com/Tmpl_Article.asp?contentType=3&ContentID=225

[92] Por ejemplo, BASF vende licopeno sintético a nanoescala para su uso en limonadas, jugos de frutas y margarinas. Según BASF, la formulación a nanoescala facilita la absorción del licopeno en el cuerpo y también incrementa la duración de la conservación del producto. Para más información: ETC Group: *Down on the Farm: The Impact of Nano-scale Technologies on Food and Agriculture*, noviembre de 2004. En Internet: www.etcgroup.org

[93] Fondo Común para los Productos Básicos: *Datos Básicos*, mayo de 2005, p. 4.

**Sector textil**

Si hay una imagen que simboliza el potencial comercial de la nanotecnología, ésa es la de los tejidos creados por nanoingeniería, transformados de forma invisible para poner de manifiesto cualidades nuevas y mejoradas, manteniendo las propiedades deseadas intactas, e introducidos a la perfección en el mercado mundial. Los tejidos creados por nanotecnología ya están disponibles en el mercado, tejidos que adquieren los mayores fabricantes del mundo de prendas de vestir.[94] Cuando el presidente de los Estados Unidos, George W. Bush, visitó China en 2002, sus anfitriones le presentaron una corbata *autolimpiadora*, que conseguía repeler las manchas gracias a un revestimiento hecho a nanoescala.[95] El regalo era una muestra de la habilidad china en las tecnologías de vanguardia. Sin embargo, al ser el mayor productor mundial de algodón y seda, China debe seguir de cerca los desarrollos de las tecnologías de nanoescala que podrían afectar profundamente la demanda de tejidos naturales.

Nano-Tex, una empresa con sede en California, ha otorgado la licencia de sus «mejoras de tejidos» basadas en nanotecnología a más de 80 fábricas de tejidos en todo el mundo, incluidas las dos fábricas indias más importantes.[96] Se dice que los tratamientos incorporados en prendas de vestir y muebles comercializados por más de 100 empresas protegen los tejidos de las manchas y los líquidos sin cambiar su textura. (La mejora de Nano-Tex se adhiere de forma permanente al tejido al nivel de nanoescala, de forma que no es detectable por el ojo humano, y está diseñada para durar lo mismo que el tejido.) Un tratamiento llamado «Coolest Comfort» elimina la humedad y favorece un secado rápido, características que permiten que los tejidos sintéticos se asemejen al algodón.[97] (En abril de 2005, Nano-Tex presentó una nueva versión de «Coolest Comfort», diseñada para ser incorporada a prendas de ropa de algodón libres de arrugas.)

Investigadores chinos han desarrollado por nanotecnología un tejido mejorado aplicable a la seda, la lana y el algodón. Song Yanlin, de la Academia China de Ciencias (CAS), explica que la técnica genera «una pantalla en forma de pelusa sobre la superficie del tejido, como si se tratara de hojas de loto... [que] absorbe las moléculas de aire y crea una delgada cubierta que protege la ropa del aceite y el agua».[98] Los científicos de la CAS han desarrollado otros tratamientos de nanotecnología que mejoran la capacidad de los tejidos sintéticos para absorber el agua, que impiden que la lana se encoja y la seda se decolore.[99] Song prevé futuras manipulaciones a nanoescala de tejidos que permitirán que las prendas de vestir sean sensibles a los cambios de luz, temperatura, humedad, radiación y cambios en la temperatura corporal de las personas que las llevan.[100]

Los tejidos de nanotecnología ya dejan sentir su influencia en el sector textil, un tema que ha sido el punto central de conferencias internacionales durante los dos últimos años en Europa y Asia. La conferencia europea de este año ha sido copatrocinada por AITPA, Asociación Industrial Textil de Proceso Algodonero (España). No es difícil entender por qué, además de compartir información sobre tratamientos de tejidos a nanoescala, los organizadores de la conferencia prometieron abordar la

---

[94] Una lista parcial de los fabricantes de prendas de vestir incluiría a Gap, Eddie Bauer, Old Navy y Lee.

[95] Anónimo: "A Chinese nano-society?", *Nature Materials*, editorial, vol. 4, n° 5, mayo de 2005, p. 355.

[96] Anónimo, Nano-Tex news release: "Nano-Tex Secures US$35 Million Series-A Round To Drive Development, Marketing, Global Expansion of Fabric Innovations", 7 de marzo de 2005, disponible en Internet: http://www.nano-tex.com/news&media/news.html

[97] Correspondencia por correo electrónico con Dan Stevens de Nano-Tex, 12 de octubre de 2005.

[98] Anónimo: "China Uses Nanotechnology for Clothing", China Education and Research Network, septiembre de 2001.

[99] Ibídem.

[100] Ibídem.

manera en que Europa puede «responder a la doble amenaza de los tejidos inteligentes y de la producción asiática de bajo costo».[101]

Aunque no están claras todas las consecuencias, es fundamental para los países en desarrollo dependientes de productos básicos anticipar las posibles repercusiones de los desarrollos de las tecnologías de nanoescala en los mercados para los tejidos naturales: ¿Se usará la nanotecnología para imitar la textura y las propiedades de tejidos naturales como el algodón y la seda? Si es así, ¿se convertirán algunos tejidos naturales en obsoletos a causa del desarrollo de nuevos tejidos inspirados en nanopartículas? ¿Las mejoras en la resistencia contra las manchas previstas para tejidos nicho como la seda provocarán un aumento de la demanda? ¿Cómo los tejidos más duraderos y resistentes a las manchas afectarán los índices de consumo?

Cuando hablamos de la naturaleza dramática de los trastornos del mercado en caso de obsolescencia de los productos básicos, vale la pena tomar en consideración el algodón. El algodón representa el 38 % del mercado mundial de tejidos. Aunque China, la India y Pakistán, junto a los Estados Unidos, representan aproximadamente dos tercios de la producción mundial, el algodón se cultiva en más de 100 países.[102]

El algodón se cultiva en 35 países de África, y es un producto fundamental para la exportación. El algodón es el principal cultivo comercial para los agricultores a pequeña escala de Zambia, cuya producción se calcula que alcanzó su punto álgido en 2003/04.[103] El algodón también es el principal cultivo comercial de la República Centroafricana, donde la producción de cultivos comerciales sólo representa un bajo porcentaje del PIB; sin embargo, el algodón es la principal fuente de ingresos para la mayoría de la población rural.[104] El algodón representa el 39 % de las exportaciones de Burkina Faso, el 37 % de Chad y el 33 % de Benin.[105] Con un valor en el mercado mundial de 24.000 millones de dólares de los EE. UU. (en 2003) y más de 1.000 millones de personas trabajando en la producción del algodón en todo el mundo, las potenciales repercusiones de la nanotecnología en el sector textil son un ámbito que requiere una vigilancia más estricta y mayor investigación.[106]

> «Las consecuencias de aplicar la ingeniería inversa al diseño de la Madre Naturaleza para nuestros propios dispositivos tecnológicos serán sumamente profundas en las economías industriales. Cuando las empresas puedan ensamblar químicamente materiales y dispositivos de forma barata de la misma forma que hoy en día se fabrica cerveza, queso y vino, esto supondrá trastornos y cambios dramáticos en las cadenas de distribución y de valor.» – Lux Research, Inc., The Nanotech Report 2004, p. 16.

### *IV.3.2 Estudios de casos*

Los siguientes estudios de casos sobre el caucho, el platino y el cobre ilustran las potenciales repercusiones de las tecnologías de nanoescala en los tradicionales mercados de productos básicos en los países en desarrollo. Los estudios de casos se llevaron a cabo con caucho y materiales estratégicos

---

[101] http://www.eurofuturetex.com/about.html

[102] Info Comm: Market Information in the Commodities Area: Cotton, disponible en Internet: http://r0.unctad.org/infocomm/anglais/cotton/market.htm

[103] Zambia Country Profile, *The Economist Intelligence Unit*, 2005.

[104] Central African Republic Country Profile, *The Economist Intelligence Unit*, 2005.

[105] Fondo Común para los Productos Básicos: *Datos Básicos*, mayo de 2005, p. 4.

[106] Gérald Estur: "Cotton: Commodity Profile", International Cotton Advisory Committee, Washington, D.C., junio de 2004, pp. 1-2.

(platino y cobre) porque: 1) estos casos proporcionan indicaciones tempranas sobre las actividades de I+D a nanoescala que se realizan en la actualidad y que tienen el potencial de modificar la demanda de productos básicos tradicionales producidos en los países en desarrollo; 2) los investigadores asociados a la I+D han manifestado claramente que el objetivo de desarrollar un material o un proceso de fabricación a nanoescala es sustituir o, en última instancia, cambiar el uso del producto básico tradicional o materia prima.

### *Estudio de caso No. 1: Potenciales repercusiones de las nanotecnologías en el mercado del caucho*

El caucho se encuentra en la naturaleza en forma de una emulsión lechosa, conocida como látex, en la savia de varias plantas. La mayor fuente de látex destinada al caucho comercial es el árbol del caucho o hevea, *Hevea brasiliensis*. El caucho es un elastómero, es decir, un polímero amorfo (cadena larga de moléculas) relativamente blando y maleable a temperatura ambiente.[107] El caucho también puede producirse de forma sintética. En 2004 se produjeron 8,6 millones de caucho natural, equivalentes a un valor de mercado de 11.600 millones de dólares de los EE. UU. En 2004, el 79 % de todo el caucho natural se produjo en el Sureste Asiático.[108]

En estos momentos es difícil evaluar cómo se verá afectado el mercado de caucho natural por los desarrollos futuros en las tecnologías de nanoescala. Por ejemplo, es posible que algunas técnicas nanotecnológicas puedan incrementar la demanda de caucho al mejorar sus propiedades e incluso crear usos totalmente nuevos para este material. Por ejemplo, los investigadores experimentan con nanofiltros insertados en caucho para incrementar su resistencia, durabilidad o elasticidad. (Sin embargo, si se incrementara la durabilidad, sería lógico que la demanda de caucho disminuyera, ya que muchos productos fabricados con caucho durarían más tiempo.) Investigadores en Japón añaden nanotubos de carbón al caucho para hacerlo más resistente y más estable térmicamente con una permeabilidad reducida.[109] Investigadores de los Estados Unidos, usando un método llamado «procesamiento de dióxido de carbono supercrítico», se dedican a la creación de nanocompuestos a partir de caucho y una variedad de materiales de relleno a nanoescala, con resultados similares a aquellos conseguidos en Japón.[110]

El mercado del caucho depende en alto grado de la industria de los neumáticos. La producción de neumáticos es la principal consumidora de caucho; dos tercios del caucho mundial se destina a fabricar neumáticos. Como Bob Nelson, director de ventas de Goodyear Chemical Corporation, ha declarado: «La industria del caucho se desarrolla de forma paralela a la industria de los neumáticos.»[111] En la actualidad, cerca del 40 % de un neumático de automóvil está hecho de caucho, en parte sintético y en parte natural. Los investigadores diseñan nanopartículas para reforzar y prolongar la duración de los neumáticos de caucho así como nuevos nanomateriales que podrían sustituir por completo al caucho.

Se han incorporado a los neumáticos nanopartículas de carbono de silicona, de forma que los elastómeros mejorados presentan una resistencia mejorada ante los derrapes así como una reducción de casi el 50 % en la abrasión, lo que promete neumáticos con una durabilidad visiblemente

---

[107] http://en.wikipedia.org/wiki/Rubber

[108] http://www.rubberstudy.com/statistics-quarstat.aspx

[109] Toru Noguchi y otros: English Abstract of "Carbon Nanotubes as Fillers", *The Journal of the Society of Rubber Industry, Japan*, 78(6), 2005, pp. 205-210.

[110] NanoScience Engineering Corporation press release: "New company's technology creates performance-enhancing nano-fillers for polymers", 29 de abril de 2005.

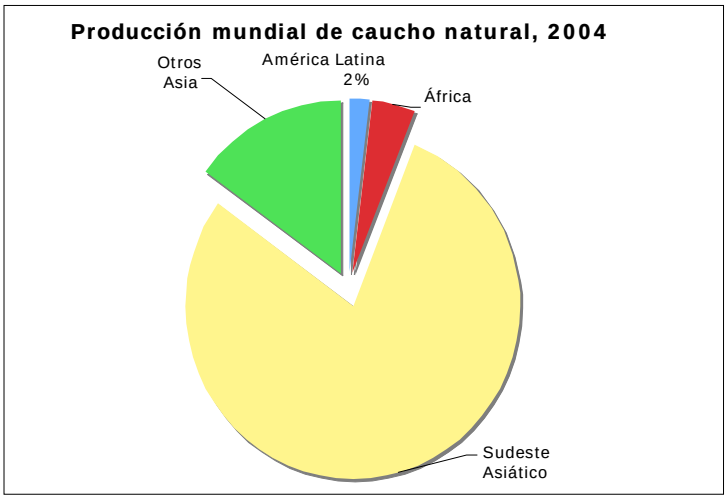
[111] Bob Nelson, citado en Alexander H. Tullo: "Synthetic Rubber: Amid a faltering economy, North American producers struggle to hang on in some sectors, while other segments post modest gains", *Chemical & Engineering News*, volumen 81, número 15, 14 de abril de 2003, pp. 23-26.

mejorada.[112] Inmat LLC produce nanopartículas de arcilla que pueden mezclarse con plástico y caucho sintético para sellar el interior de los neumáticos. Este procedimiento crea una superficie hermética, lo que reduce potencialmente la cantidad de caucho natural necesario, hace los neumáticos más ligeros y más baratos, y permite un deslizamiento más suave. La tecnología ya se ha incorporado a pelotas de tenis, que están a la venta desde finales de 2001. La tecnología se desarrolló originalmente a finales de los años noventa, en un proyecto conjunto de I+D de Michelin y Hoechst Celanese.[113]

El aerogel es un material sumamente ligero y sólido, compuesto de miles de millones de burbujas de aire atrapadas en una matriz de partículas a nanoescala de sílice (vidrio) y plástico). El aerogel es resistente al calor y un excelente aislante. Este material comenzó a desarrollarse en los años treinta, pero su utilidad era limitada porque era frágil y absorbía la humedad. En la actualidad, se realizan nuevas investigaciones sobre la tecnología del aerogel. Un investigador describe la nueva generación de aerogeles como «el material más resistente y ligero conocido por la humanidad». Los aerogeles se incorporan actualmente a los materiales de la construcción, y los investigadores también prevén usarlos para crear neumáticos más ligeros y duraderos.[114]

Los beneficios medioambientales podrían ser importantes si se reemplazara el caucho material por nanomateriales, aunque los nuevos materiales también podrían dar pie a nuevos problemas de eliminación de residuos y nuevos contaminantes para el medio ambiente. No obstante, si la demanda de caucho natural cayera en picado a causa de la introducción de nuevos materiales creados por nanoingeniería, o porque los neumáticos duran el doble, los principales productores del mundo de caucho natural, trabajadores de Tailandia, Indonesia y Malasia, se verían gravemente afectados.

**Gráfico 2**
**Producción mundial de caucho natural, 2004**




Fuente: International Rubber Study Group (Grupo Internacional de Estudio del Caucho); Sureste Asiático = Camboya, Indonesia, Malasia, Myanmar, Filipinas, Tailandia y Viet Nam

[112] NanoProducts press release: "Nanotechnology creates safer, more durable tires", julio de 2003, disponible en Internet: http://www.nanoproducts.com/site/content_page.php?p=new_developments
[113] Sara Parsowith: "These Balls Could Bounce All the Way to Profit", *Business News* (New Jersey), 13 de noviembre de 2001.
[114] Anónimo, American Chemical Society: "New Lightweight Materials May Yield Safer Buildings, Longer-lasting Tires: Aerogels", septiembre de 2002.

En un esfuerzo por aumentar los precios del caucho por encima de 1 dólar de los EE. UU./kg, los 3 principales países productores de caucho celebraron, a mediados de 2002, un acuerdo para recortar la producción en un 10 % y las exportaciones en un 4 % durante los próximos 3 años.[115]

- El caucho natural se cultiva en el sur de Tailandia, un país donde 13,6 millones de personas (el 40 % de la población activa) trabajan en el sector de la agricultura.[116] Tailandia superó a Malasia en 1991 y se convirtió en el principal productor mundial de caucho natural, con casi 3 millones de toneladas en 2004, que representan más del 34 % de la producción mundial total.[117] Tailandia parece ser, en cierta forma, consciente de que los desarrollos en las nanotecnologías afectarán al mercado del caucho, ya que las investigaciones actuales se centran en el uso de las nanotecnologías para mejorar las propiedades del caucho natural. A finales de agosto de 2005, la Universidad Chulalongkorn de Bangkok fue la sede de una conferencia sobre el «Futuro del Caucho Natural para Aplicaciones Industriales». Los investigadores presentaron ponencias sobre el caucho y los compuestos de nanopartículas, así como el uso de microscopios de fuerza atómica para comprender mejor el comportamiento y las propiedades del caucho natural.

- Indonesia es el segundo productor mundial de caucho natural, con una producción superior a los 2 millones de toneladas en 2004, lo que representa casi un cuarto de la producción mundial.[118] Según la *Economist Intelligence Unit*, los pequeños agricultores de Indonesia produjeron más de 1,3 millones de toneladas.

- Malasia produjo casi 1,2 millones de toneladas de caucho natural en 2004, lo que representó casi el 14 % de la producción mundial. En septiembre de 2005, el Malaysian Rubber Board (Consejo de Caucho de Malasia) organizó una misión comercial de 10 días a China, que fue la primera visita oficial en 10 años de las autoridades de la industria del caucho malaya. China es considerada un socio comercial ideal debido a su gran demanda de productos de caucho, un resultado del gran incremento en las ventas de automóviles. Malasia espera exportar a China 60.000 toneladas más de caucho que el año pasado.[119]

***Estudio de caso No. 2: Uso de las nanotecnologías para sustituir el platino como catalizador en convertidores catalíticos, baterías, pilas de combustible y componentes de electrodos***

El **platino** es un elemento químico de la tabla periódica, su símbolo es Pt, y su número atómico el 78. [120] El platino es conocido por sus extraordinarias propiedades catalizadoras. (Un catalizador es una sustancia que acelera una reacción química.) La industria automotriz es la mayor consumidora de metales del grupo del platino, metales que utiliza como catalizadores en convertidores catalíticos diseñados para tratar las emisiones de gases del tubo de escape de los automóviles. Según la empresa de investigación de mercado Johnson Matthey, el uso del platino como autocatalizador representó el 53 % del total de la demanda de platino en todo el mundo en 2004.[121] El platino es también el primer

---

[115] *Economist Intelligence Unit*, Country Profile: Indonesia, 25 de abril de 2005.

[116] *Economist Intelligence Unit*, Country Profile: Thailand, 1 de junio de 2005.

[117] International Rubber Study Group: *Summary of World Rubber Statistics*, Annual Edition, 2005, pp. 1-2.

[118] Ibídem.

[119] Hanim Adnan: "Malaysian rubber riding high on China market", Malaysian Rubber Board, 12 de septiembre de 2005.

[120] Según Wikipedia: El grupo o familia del platino es un grupo de seis elementos metálicos con propiedades físicas y químicas similares. La familia está compuesta por el rutenio, el rodio, el paladio, el osmio, el iridio y el platino. Fuente: www.wikipedia.org

[121] Tom Kendall: *Platinum 2005: 20th Anniversary*, Johnson Matthey plc, mayo de 2005, p. 48. La cifra incluye tanto el platino reciclado como el de nueva extracción.

material catalizador en baterías y pilas de combustible, así como en los componentes de electrodos. Se calcula que el uso del platino como catalizador en pilas de combustible y baterías representa un 40 % del costo total del producto. [122] En 2004, la demanda de platino para su uso en autocatalizadores fue de 3,51 millones de onzas (reflejo de un valor de mercado de casi 3.000 millones de dólares).[123]

El desarrollo de pilas de combustible de hidrógeno podría ser la mejor vía para sustituir los combustibles fósiles con fuentes de energía más limpias y abundantes. Sin embargo, el alto costo del platino — catalizador que se usa en las pilas de combustible para extraer los electrones de los átomos de hidrógeno para generar electricidad — supone un obstáculo. El platino es caro (el precio medio por onza en 2004 fue de 845,75 dólares de los EE. UU.), y las reservas son limitadas.[124] Para poder hacer viables los diseños de las pilas de combustible de hoy, los investigadores deben encontrar un sustituto para el catalizador de platino, o reducir la cantidad de platino que se necesita en un 90 %.[125]

Los investigadores, tanto académicos como del sector privado, incluidas dos empresas incipientes (*start-up*) nanotecnológicas con sede en California, QuantumSphere, Inc.[126] y NanoStellar, Inc.[127] se dedican a desarrollar materiales de nanoescala que reemplazarán total o parcialmente los catalizadores por sustitutos más baratos y con un mejor rendimiento. QuantumSphere, Inc. tiene como objetivo reducir el costo de las pilas de combustible de hidrógeno mediante la sustitución de los catalizadores de platino por los nanomateriales metálicos patentados por la empresa, el nanoníquel y las aleaciones de cobalto. Kevin Maloney, CEO de QuantumSphere, Inc., afirma que los nanopolvos metálicos patentados por su empresa «liberarán a las compañías de su dependencia del platino, reducirán el costo de la producción y aumentarán los márgenes de beneficio, permitiendo que las empresas ofrezcan nuevos productos a un precio aceptable para el mercado.»[128]

«Las empresas y los Gobiernos gastan conjuntamente miles de millones de dólares al año como consecuencia de su dependencia excesiva del uso del platino como catalizador. Como resultado, el mercado de los catalizadores de metales del grupo del platino, con un valor anual de 10.000 millones de dólares de los EE. UU., se verá inevitablemente afectado por el hecho de que nuestro nanoníquel puede utilizarse para lograr mejores resultados respecto de muchas de las mismas aplicaciones que se emplean en la actualidad, y ello con una reducción en el precio del 75 %. – Kevin Maloney, CEO, QuantumSphere, Inc., citado en *Fuel Cell Magazine*, enero de 2005.[129]

QuantumSphere ha solicitado tres patentes amplias para el níquel a nanoescala que la empresa afirma darán como resultado catalizadores más baratos y más eficaces que los de platino.

Un equipo de físicos computacionales del MIT y de la Universidad de Stanford utiliza modelos informáticos de estructuras a escala atómica para determinar qué es lo que convierte al platino en un

[122] QuantumSphere, Inc., servicio de publicación de noticias de la empresa: "QuantumSphere Achieves Milestone: Nano-Nickel/Cobalt Alloy, Replaces Platinum", 29 de agosto de 2005. En Internet: www.nanoinvestornews.com

[123] Según Johnson Matthey, el precio medio del platino en 2004 fue de 845,75 dólares de los EE. UU.

[124] *Fuel Cell Industry Report*, vol. 6, n° 9, septiembre de 2005, p. 1.

[125] Monya Baker: "Sheer Energy: Thinner, cheaper fuel cell catalysts", *Technology Review*, junio de 2005.

[126] En Internet: http://www.qsinano.com/

[127] En Internet: http://www.nanostellar.com/

[128] QuantumSphere, Inc., Company News Release: "QuantumSphere Achieves Milestone: Nano-Nickel/Cobalt Alloy, Replaces Platinum", 29 de agosto de 2005. En Internet: www.nanoinvestornews.com

[129] *Fuel Cell Magazine*, actualización electrónica de enero de 2005, en Internet: http://www.fuelcell-magazine.com/fc_newsletter_1-05.htm

catalizador por excelencia. En esencia, los investigadores modelan materiales átomo por átomo.[130] A nanoescala, las propiedades de un material vienen determinadas por la reorganización de sus átomos. Por ejemplo, el grafito y el diamante son compuestos de un mismo elemento químico, el carbono. Cuando los átomos de carbono se agrupan adhiriéndose cada uno a otros cuatro en un modelo en forma de pirámide, la sustancia resultante es el diamante. Cuando los átomos se reorganizan en una estructura plana con tres átomos adhiriéndose a cada átomo de carbono, el resultado es el granito. Mediante el uso de simulaciones informáticas del platino a nanoescala, los investigadores de Stanford han descubierto que una configuración de 611 átomos de platino se convierte en el catalizador de pilas de combustible más estable y eficiente.[131] Tras determinar la configuración atómica óptima, los investigadores examinaron bases de datos para encontrar materiales que no fueran platino, pero con propiedades cuánticas similares. En teoría, el uso de modelos informáticos para simular estructuras atómicas confiere a los investigadores la capacidad de crear nuevos materiales y dispositivos, y de «predecir su comportamiento antes de crearlos».[132]

En 2003, Kyeongjae Cho, profesor de la Universidad de Stanford, cofundó la empresa incipiente (*start-up*) de nanotecnología Nanostellar, Inc., dedicada a la comercialización de catalizadores nanoestructurados. Nanostellar preparara 20 solicitudes de patente, algunas de las cuales reivindican nanocatalizadores de bajo costo para reducir la dependencia del platino.[133] Un informe de situación de mayo de 2005 sobre la National Nanotechnology Initiative (Iniciativa Nacional de Nanotecnología) del Gobierno de los Estados Unidos reconoce la labor de Nanostellar, Inc. por desarrollar nanomateriales para lograr una energía limpia:

«Nanostellar ha reducido drásticamente la cantidad de platino requerida para el control de las emisiones en la industria automotriz mediante el diseño y la producción de nanopartículas que combinan el metal precioso con otros metales menos costosos.»[134]

En otras investigaciones, científicos del Brookhaven National Laboratory (Laboratorio Nacional de Brookhaven) del Departamento de Energía de los Estados Unidos (Long Island, Nueva York) y la Universidad de Wisconsin-Madison *crean por ingeniería atómica* superficies de metales para potenciar sus propiedades catalíticas, con el objetivo de reducir la cantidad de platino requerida.[135] El equipo de investigación informó a principios de año de que una única capa atómica de platino aplicada al paladio (otro elemento químico) es 20 veces más activa por átomo que los catalizadores comerciales.[136] Si pudiera reducirse la cantidad de platino que se utiliza como catalizador a una capa de platino del espesor de un átomo, se reduciría enormemente la cantidad de platino utilizado, lo que convertiría a las pilas de combustible en un proyecto comercial económicamente viable. Las conclusiones demuestran el potencial de las superficies nanoestructuradas para mejorar la eficiencia y reducir el costo de los catalizadores, y alterar de forma drástica la necesidad de materias primas.

¿Qué tan real e inmediata es la posibilidad de que los nuevos materiales de nanoescala reemplacen o reduzcan la demanda de metal de platino? Tom Kendall, de Matthey-Johnson, la empresa de investigación de platino con sede en el Reino Unido, no desestima el potencial de los

---

[130] Alexandra Goho: "Virtual Nanotech: Modeling materials one atom at a time", *Science News*, 7 de febrero de 2004, vol. 165, n° 6, p. 87.

[131] Ibídem.

[132] Conversación telefónica con Noel Park, de Nanostellar Inc., 6 de octubre de 2005.

[133] Ibídem.

[134] PCAST: "National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel", mayo de 2005, p. 13. http://www.ostp.gov/pcast/PCASTreportFINALlores.pdf

[135] Monya Baker: "Sheer Energy: Thinner, cheaper fuel cell catalysts", *Technology Review*, junio de 2005.

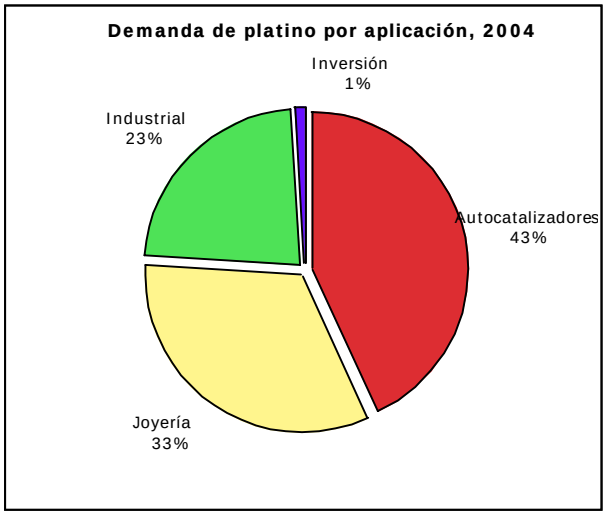
[136] PCAST: "National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel", mayo de 2005, p. 13.

nuevos desarrollos basados en nanotecnología en el futuro, pero sostiene que «no divisamos en el horizonte nada que amenace de forma inmediata al platino».[137] Kendall destaca que el platino presenta una durabilidad excelente y que a la industria del automóvil le llevaría años, y no meses, empezar a usar un nuevo sistema catalizador. También destaca que obtener buenos resultados en el laboratorio es una cosa, pero llevar su aplicación a la producción industrial es algo muy distinto.

*Potenciales repercusiones de sustituir o reducir los mercados para los catalizadores de platino para los países en desarrollo*

El valor del mercado mundial del platino es aproximadamente de 6.000 millones de dólares de los EE. UU. (para el metal de nueva extracción, no el reciclado).[138] En 2004, la demanda mundial de platino fue de 6,58 millones de onzas, y el precio medio del platino era de 845,75 dólares de los EE. UU. por onza, un aumento del 22 % respecto al año anterior. La producción de autocatalizadores representó el consumo más importante de platino en 2004, lo equivale a un 53 % de la demanda total. Los mayores productores de platino son Sudáfrica, América del Norte, Rusia y Zimbabwe. Europa, América del Norte y Japón reúnen dos tercios de la demanda de platino mundial.[139]

**Gráfico 3**
**Demanda de platino por aplicación, 2004**




Sudáfrica es, con diferencia, el mayor productor mundial de platino (además de ser el principal productor mundial de oro, cromo, hierro-cromo, manganeso, vanadio y vermiculita). La actividad se concentra en el norte del país.

- Sudáfrica generó el 77 % de la producción mundial total de platino en 2004, y se calcula que cuenta con el 87,5 % de las reservas mundiales.

[137] Conversación telefónica con Tom Kendall, Johnson-Matthey, Londres, Reino Unido, 12 de octubre de 2005.
[138] Cálculo aproximado proporcionado por Tom Kendall, Johnson-Matthey, Londres, Reino Unido. Conversación telefónica de 12 de octubre de 2005.
[139] UNCTAD, Market Information in the Commodities Area, Platinum. En Internet: http://r0.unctad.org/infocomm/anglais/platinum/market.htm

- El sector entero de la minería y la extracción en Sudáfrica emplea directamente a más de 416.920 trabajadores, el equivalente en términos económicos al 2,6 % de la población activa. Si se incluyen los familiares dependientes y los trabajadores empleados en el comercio subordinado a la minería, el número de personas dependientes de la minería como fuente de ingresos se acerca a los cuatro millones.

- En 2002, el sector de la minería representó el 33 % del valor total de los bienes exportados por Sudáfrica. (EIU)

Zimbabwe ha sido testigo de una constante disminución en la extracción de oro desde finales de los años noventa, pero el sector del platino se encuentra en crecimiento.

- Zimbabwe es el cuarto mayor exportador mundial de platino.

- Las empresas mineras sudafricanas (en particular Zimplats de Australia y Sudáfrica) invierten en las minas de platino de Zimbabwe. Anglo American invirtió 90 millones de dólares de los EE. UU. en una nueva mina de platino, que se espera funcione a pleno rendimiento en 2007.

- En febrero de 2005, el Gobierno de Zimbabwe promulgó leyes para estimular la extracción de platino: al platino se le ha otorgado, junto al oro, el *estatus de metal estratégico*, lo que obliga a los productores a vender su platino a la Minerals Marketing Corporation (Corporación de Comercialización de Minerales) de Zimbabwe, fundada por el Gobierno. El Gobierno crea actualmente un programa de apoyo a la inversión en la industria del platino, que estimulará proyectos industriales, sobre todo el refinado de platino. El nuevo régimen también requiere un mayor número de propietarios zimbabwenses de raza negra en el sector de la minería. (EIU)

***Estudio de caso No. 3: Se pretende sustituir el cableado de cobre por cables de corriente fabricados a partir de nanotubos de carbono***

En abril de 2005, la NASA adjudicó un contrato de cuatro años por un valor de 11 millones de dólares de los EE. UU. al Carbon Nanotechnology Laboratory (Laboratorio de Nanotecnología del Carbono) de la Universidad Rice en Houston, Texas.[140] El proyecto está destinado a producir un prototipo de cable fabricado por completo de nanotubos de carbono, que podría conducir la electricidad de forma hasta 10 veces más eficiente que el cobre. En virtud de las cláusulas del contrato, se espera que los investigadores de la Universidad Rice hayan creado para el año 2010 un cable de un metro de largo hilado a partir de fibras de nanotubos de carbono. Los investigadores de la Universidad Rice creen que, algún día, el cableado hecho a partir de nanotubos de carbono transformará la red eléctrica.

**¿Qué son los nanotubos de carbono?**

Los nanotubos de carbono son grandes moléculas de carbono puro largas y delgadas, en forma de tubos, de entre aproximadamente 1 y 3 nanómetros (1 nm = 1 millonésima de milímetro) de diámetro, y de varios milímetros de longitud. Como moléculas individuales, los nanotubos son 100 veces más resistentes y 6 veces más ligeros que el acero.

Suele aludirse al cable distribuidor de corriente hilado a partir de nanotubos de carbono como «cable cuántico» porque son los efectos cuánticos de nanoescala los que dotan a estas estructuras moleculares de una enorme resistencia y una conductividad eléctrica extraordinaria.

Los investigadores de la Universidad Rice ya han hilado fibras de unos 100 metros de longitud, pero el desafío es producir en masa nanotubos uniformes y bien alineados que ofrezcan una conductividad superior sin pérdidas de energía. Howard Schmidt, Director Ejecutivo del Carbon Nanotube Laboratory de Rice manifiesta: «Debemos encontrar un camino para crear únicamente los nanotubos que deseamos, pues los necesitamos en grandes cantidades.»[141]

Los nanotubos de carbón pueden producirse en muchas formas y configuraciones distintas. El desafío actual es producir de forma uniforme y económica un tipo específico de nanotubos de carbón con una conductividad eléctrica superior. Estos nanotubos se conocen como 'nanotubos butaca' porque la configuración de sus átomos de carbono se parece a la de una butaca. Richard Smalley, galardonado en 1996 con el premio Nobel y Director del Carbon Nanotechnology Laboratory de la Universidad Rice, describió la promesa y el potencial de los cables cuánticos:

«Cada [nanotubo] de tipo 'butaca' puede conducir hasta 20 microamperios de corriente. No parece mucho hasta que uno se da cuenta de que este pequeño cable molecular sólo mide un nanómetro de diámetro. Un cable con un grosor de media pulgada compuesto de estos tubos, alineados en paralelo a lo largo del cable, dispondría de más de 100 billones de conductores apiñados uno al lado del otro, como si se tratara de tuberías en una ferretería. Si cada uno de estos tubos solamente condujera un microamperio, el 2 % de su capacidad, el cable de media pulgada de grosor conduciría un centenar de millones de amperios de corriente. El objetivo primordial de nuestro trabajo es fabricar un cable cuántico del 'tipo butaca'.» – Richard E. Smalley, premio Nobel y Director del Carbon Nanotube Laboratory de la Universidad Rice.

Smalley también previó el uso de cables cuánticos en pilas de combustible y baterías, y la sustitución de los cables de cobre empleados en la actualidad para el montaje de coches, camiones, aeronaves y otros equipos pesados.

«Si, en la práctica, el cable cuántico de 'tipo butaca' resulta ser tan buen conductor como imaginamos, se usará para sustituir el cobre en los arneses de cableado de automóviles y aviones.» – Richard E. Smalley, premio Nobel y Director del Carbon Nanotube Laboratory de la Universidad Rice.[142]

Según Smalley, si se logra armar cables de nanotubos de carbono de forma que operen sin desperdiciar electricidad en forma de calor, estos cables podrían funcionar tan bien como los semiconductores actuales, pero sin necesidad de contar con equipos de refrigeración costosos.[143]

---

[140] NASA News: "NASA Awards US$11 Million 'Quantum Wire' Contract to Rice", 22 de abril de 2005. En Internet: http://www.nasa.gov/centers/johnson/news/releases/J05-018.html

[141] Ibídem.

[142] Declaraciones de Richard E. Smalley ante la Cámara de Representantes de los Estados Unidos, Comisión de Ciencia, Subcomisión de Energía: "Review of Non-Oil and Gas Research Activities in the Houston-Galveston-Gulf Coast Area", Rice University, 4 de diciembre de 2003.

[143] Erika Jonietz: "Power Transmission", *Technology Review*, mayo de 2005.

En junio de 2005, científicos de la Universidad de California-Irvine anunciaron que los nanotubos de carbono son capaces de transmitir señales eléctricas a un chip más rápido que los cables tradicionales de cobre o aluminio, a velocidades de hasta 10 gigahercios (GHz) ($10^9$ por segundo).[144] Los descubrimientos tienen muchas aplicaciones potenciales porque las señales eléctricas se transmiten a gran velocidad a través de sistemas casi totalmente electrónicos, y también a través de ondas etéreas en el caso de los sistemas inalámbricos.

Peter Burke, profesor de ingeniería eléctrica e informática de la Universidad California-Irvine, explica el significado de los descubrimientos de su equipo:

«Nuestras primeras investigaciones mostraron que los transistores de nanotubos pueden funcionar en frecuencias sumamente altas, pero las conexiones entre los transistores estaban hechas de un cobre un poco más lento, de manera que se formaba un cuello de botella para las señales eléctricas.» Burke comentó asimismo que «Mediante esta tecnología mostramos que los nanotubos también pueden transmitir rápidamente señales electrónicas de un transistor a otro, eliminando de esta forma el cuello de botella.»[145]

A finales de los años noventa, la industria de los chips semiconductores pasó de usar aluminio a emplear cobre para su cableado de interconexión (conexiones entre los transistores) porque el cobre conduce las señales eléctricas más rápido que el aluminio. Sin embargo, si los nanotubos pueden producirse de modo uniforme y económico, «está claro que sustituir el cobre por los nanotubos proporcionaría incluso una mayor ventaja de rendimiento en términos de velocidad.»

### *Potenciales repercusiones en los países en desarrollo de la sustitución del cobre provocada por la nanotecnología*

El cobre es un elemento químico de la tabla periódica, su símbolo es Cu y su número atómico el 29. El cobre es un metal rojizo apreciado por su alta conductividad eléctrica y termal (entre los metales puros a temperatura ambiente, sólo la plata tiene una mayor conductividad eléctrica).[146]

Australia, Chile, los Estados Unidos e Indonesia son los principales productores mundiales de cobre. Asimismo, Zambia dispone de grandes depósitos de cobre y fue el principal productor en los años setenta, aunque la producción fue cayendo progresivamente hasta 2000.[147] La extracción de cobre mundial aumentó de repente a principios de 1995, pero la producción se mantuvo esencialmente sin cambios en 2003, en 13,6 millones de toneladas métricas (Mt). Los productores, principalmente Chile y los Estados Unidos, redujeron la producción pese a un incremento de casi 800.000 Mt en la capacidad de extracción mundial entre 2001 y 2003.[148]

Se calcula que Chile cuenta con un tercio de las reservas mundiales de cobre y es, con diferencia, el mayor productor mundial.

---

[144] Z. Yu y P.J. Burke: "Microwave Transport in Metallic Single-Walled Carbon Nanotube", *Nanoletters*, vol. 5, n° 7, 1403-1406. En Internet: http://nano.ece.uci.edu/papers/nl050738k.pdf

[145] Burke es citado por Henry Samueli, Facultad de Ingeniería, Universidad de California, Irvine, *News Release*, "UCI Scientists Use Nanotechnology to Create World's Fastest Method for Transmitting Information in Cell Phones and Computers", 9 de junio de 2005. En Internet: http://www.eng.uci.edu/news_events/current/?page=188

[146] Fuente: Wikipedia.com

[147] Chile, Country Profile, Economist Intelligence Unit

[148] United States Geological Survey

- En 2004, la actividad minera representó un 7,9 % del PIB de Chile, cifra sin precedentes, y un 51 % de las exportaciones, es decir 16.400 millones de dólares de los EE. UU. **El cobre supuso 14.300 millones de dólares de los EE. UU., es decir el 45 %, de las exportaciones de Chile en 2004; se calcula que 74.000 trabajadores estaban empleados en la minería y demás sectores de extracción chilenos.**

- En 2004, Chile produjo 5.450.000 millones de toneladas de cobre refinado, lo que representó el 38 % de la producción mundial total y más del triple del nivel de producción de 1990.

- La apertura en 1990 de La Escondida, una mina al norte del desierto de Atacama, fue la mayor contribución individual al crecimiento de la producción de cobre en Chile durante la pasada década. Se trata de la mayor mina de cobre del mundo. En 2002 se completó un programa de expansión de 100 millones de dólares de los EE. UU. que aumentaba aun más la capacidad.

- Un estudio de la Comisión Chilena del Cobre informó a principios de 2005 que se llevaban a cabo, o que estaban en fase de evaluación y diseño, proyectos de cobre por un valor de 11.400 millones de dólares de los EE. UU.

**Empleo: minería/producción chilena**

| **Año** | **2000** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Mano de obra chilena total** | 5.847.000 | 5.861.000 | 5.914.000 | 6.066.000 | 6.199.000 |
| **Minería y extracción** | 73.000 | 72.000 | 72.000 | 68.000 | 74000 |

Fuente: Banco Central de Chile, Boletín Mensual.

Indonesia cuenta con ricos depósitos de cobre. **La minería representó el 12 % del PIB del país en 2004, y se calcula que 500.000 trabajadores indonesios estaban empleados en el sector de la minería y la extracción.**[149]

- Indonesia produjo 3,2 millones de toneladas de cobre en 2003.
- La segunda mayor mina de cobre del mundo se encuentra en Grasberg, en Papúa, y emplea a 18.000 personas.
- En 1999, se abrió una nueva mina de cobre, operada por Newmont Nusa Tenggara, una empresa filial de la empresa estadounidense Newmont Mining, ubicada en la isla de Sumbawa, en Nusa Tenggara Occidental. Procesa 160.000 toneladas de mineral al día.

[149]Indonesia Country Profile, datos del Country Studies Program, Federal Research Division, Library of Congress, United States of America (Biblioteca Nacional de los Estados Unidos). http://lcweb2.loc.gov/frd/cs/profiles.html

De 1990 a 1999, los tres productos básicos de Zambia representaban una media de 68 % de sus ingresos por divisas (*véase* el anexo 1), y era el cobre el producto con mayores ingresos por beneficios de Zambia. Zambia cuenta con algunos de los mayores depósitos de cobre (y cobalto) del mundo y, en los años setenta, se encontraba entre los mayores productores mundiales de cobre. Tras la nacionalización de las minas a principio de los años setenta, los niveles de producción anual empezaron a caer, mientras que los niveles de producción de los competidores, sobre todo Chile, crecieron. En 2000, la producción de cobre de Zambia cayó a 256.900 toneladas (y la producción de cobalto a 3.500 toneladas), el nivel más bajo desde finales de los años cincuenta. Sin embargo, la inversión en el sector minero ha aumentado con la privatización de la Zambia Consolidated Copper Mines o ZCCM (Minas de Cobre Consolidadas de Zambia).

- La producción de cobre en 2004 fue 55 % mayor que en el año 2000.
- La recaudación procedente de la extracción de cobre y cobalto es dominante en los ingresos por divisas de Zambia, y suele representar entre un 55% y un 70 % del total.
- Para 2005, Zambia espera en conjunto un pequeño excedente comercial, debido en gran parte a las exportaciones de cobre, de 35 millones de dólares de los EE. UU.

**Producción de cobre en Zambia**

| **Año** | **2002** | **2003** | **2004** |
|---|---|---|---|
| **Producción de cobre (miles de toneladas)** | 337 | 350 | 398 |
| **Empleo en el sector minero** | 39.914 | 53.868 | N/d |

N/d: no disponible; Fuente: Bank of Zambia, FMI, Zambia: Selected issues and Statistical Appendix; EIU

Citemos brevemente la situación del Congo (República Democrática) donde la totalidad del sector sólo representó un 9 % del PIB en 2004. Si bien la economía nacional reposaba en gran parte sobre la extracción de cobre, la producción nacional se resintió con la brusca caída de los precios internacionales en los años setenta. La empresa estatal Gécamines pasó de producir 500.000 toneladas anuales entre 1980 y 1987 a solamente 7.700 toneladas en 2004.[150] La *Economist Intelligence Unit* calcula que la producción nacional total, incluidas la empresa Gécamines y las empresas privadas, se sitúa en 80.000 toneladas al año, e informa que la producción de cobre experimentó un aumento en 2005.[151]

**Resumen de los estudios de casos:** Los estudios de casos presentados ofrecen una visión de las potenciales repercusiones de los materiales y procesos a nanoescala sobre los países dependientes de productos básicos y otros países en desarrollo. En la mayoría de los casos, es demasiado pronto para predecir con seguridad qué productos básicos o trabajadores se verán afectados y en qué plazo. Es importante subrayar que las tecnologías de nanoescala también podrían ofrecer a los países en desarrollo el potencial para innovar y añadir valor a los productos básicos actuales. Las potenciales

[150] Congo Country Profile, *Economist Intelligence Unit*, 2005.
[151] Congo Country Profile, *Economist Intelligence Unit*, septiembre de 2005.

repercusiones no pueden simplemente clasificarse como *buenas* o *malas*. Sin embargo, está claro que las naciones en desarrollo dependientes de productos básicos son las más pobres, las más vulnerables y las que probablemente se enfrentarán a los mayores trastornos.[152] En la actualidad, las innovaciones nanotecnológicas y la propiedad intelectual son lideradas por el Norte (en especial los Estados Unidos, Europa y Japón). La historia demuestra que habrá una pugna por sustituir productos básicos como el caucho, el algodón y los minerales estratégicos por materias primas más baratas que puedan extraerse en lugares más cercanos. Los nuevos materiales diseñados por nanotecnología podrían desestabilizar los mercados de productos básicos, perturbar el desarrollo del comercio y eliminar puestos de trabajo. El desplazamiento de trabajadores provocado por el desuso de los productos básicos o por una disminución de los precios perjudicará a los más pobres y vulnerables, sobre todo a aquellos trabajadores en el mundo en desarrollo que no cuentan con la flexibilidad económica para responder a las demandas repentinas de nuevas habilidades o de materias primas distintas.

Frente a los precios permanentemente bajos y volátiles de los productos básicos destinados a la exportación, así como a la persistente pobreza experimentada por muchos trabajadores que se dedican a la producción de productos básicos en el Sur, pocos se mostrarían a favor de preservar el statu quo. El mantenimiento del statu quo no es la cuestión. La cuestión inmediata y más urgente es la probabilidad de que las nanotecnologías provoquen grandes trastornos socioeconómicos para los que la sociedad no está preparada. Los Gobiernos deben adquirir la capacidad de comprender y enfrentarse a las potenciales repercusiones de la nanotecnología para participar en su evaluación y para determinar las prioridades de investigación basadas en las necesidades humanas y el desarrollo.

[152] Aunque existe desacuerdo acerca de la relación causal entre la pobreza y la dependencia de los productos básicos, sí existe acuerdo en que los países con una mayor dependencia de los productos básicos son los más pobres. *Véase* por ejemplo Nancy Birdsall y Amar Hamoudi: *Commodity Dependence, Trade and Growth: When 'openness' is not enough*, Center for Global Development, Working Paper No. 7, mayo de 2002, p. 17.

## V. CONCLUSIÓN

La historia muestra que los cambios provocados por la tecnología en la demanda de productos básicos son rápidos e impredecibles. Los beneficiarios de los cambios repentinos suelen ser los creadores de la nueva tecnología, pues se encuentran en la posición de predecir los cambios, mientras que los *perdedores* son los productores de productos básicos primordiales, ignorantes de los cambios inminentes, o aquellos que no han podido hacer los ajustes necesarios para adaptarse rápidamente a la nueva configuración del mercado.

No cabe prácticamente duda de que la *tecnología minúscula* es el próximo gran avance en el horizonte de la ciencia y la tecnología. La nanotecnología recibe una importante cantidad de inversión y dosis de innovación tanto del sector público como del privado. En todo el mundo se invierten miles de millones de dólares en investigación básica, y el número de artículos científicos y patentes publicadas relacionadas con la nanotecnología aumenta vertiginosamente. Varios países en desarrollo de ingresos medios emprenden actualmente programas de I+D en nanotecnología.

Algunos países en desarrollo dependientes de productos básicos se encontrarán dentro de poco bajo la presión de «subirse al carro de la nanotecnología», ya sea como terrenos de prueba para la investigación, como mercados para productos basados en nanotecnología o como posibles jurisdicciones para la protección de patentes. Sin una planificación y evaluación críticas, es más probable que los países en desarrollo dependientes de productos básicos sean el blanco de las repercusiones potencialmente adversas de la nanotecnología, en lugar de participar activamente en la configuración del papel de la nanotecnología en la sociedad. Los expertos en desarrollo ya advierten sobre la amenaza de la *brecha nanotecnológica*. Sin embargo, es importante recordar que para los países en desarrollo dependientes de productos básicos las nuevas tecnologías raramente han proporcionado soluciones simples a problemas complejos, arraigados en la pobreza y las desigualdades sociales. También es cierto que existen muchas buenas tecnologías disponibles en la actualidad que nunca han sido aplicadas a las necesidades de desarrollo más urgentes del Sur.

En un contexto justo y sensato, la nanotecnología podría aportar beneficios útiles a los pobres: agua limpia, energía más barata y mejoras en la salud. Asimismo podrían obtenerse beneficios medioambientales gracias a la sustitución de algunos materiales convencionales por nanomateriales nuevos. Pero en un mundo donde prevalece la privatización de la ciencia y una concentración empresarial sin precedentes, lo que impulsa la ola nanotecnológica es el imperativo tecnológico y la búsqueda de beneficios, y no las necesidades de desarrollo humano. ¿Podrán las comunidades o países pobres acceder a los productos de nanotecnología patentados? ¿Crearán las patentes de nanotecnología barreras de acceso y megamonopolios respecto a los elementos que son los componentes básicos del mundo natural? Si las tendencias actuales continúan, la nanotecnología seguirá concentrando el poder económico en manos de las empresas multinacionales y ampliará la brecha entre ricos y pobres.

Los cultivos modificados genéticamente entraron en el mercado hace una década, prácticamente sin ningún tipo de discusión pública sobre sus riesgos, y dentro de marcos reguladores que algunos críticos han descrito como inadecuados, opacos o inexistentes. Como resultado, quedan por resolver las cuestiones y las controversias que rodean a las repercusiones socioeconómicas, sanitarias y medioambientales de los alimentos genéticamente modificados. Millones de personas han rechazado este tipo de productos. Hoy en día, cinco multinacionales agroquímicas dominan el mercado mundial de la biotecnología agrícola. Cada vez existen más pruebas de que un flujo indeseado de genes de las plantas genéticamente modificadas contamina los cultivos sin modificación genética en muchos terrenos (incluidos los centros de diversidad genética en los países en desarrollo), con consecuencias

desconocidas para la biodiversidad.[153] El Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad de las Naciones Unidas, que establece las normas para la introducción de organismos modificados genéticamente a través de las fronteras nacionales, entró en vigor en 2003, ocho años después de que se comercializaran los primeros cultivos genéticamente modificados. Los paralelismos entre la introducción de la biotecnología agrícola y la nanotecnología son innegables. Sin embargo, en el caso de la nanotecnología, las repercusiones trascenderán todos los sectores industriales, y las multinacionales se han involucrado en una fase mucho más temprana.

En 2006, se espera por primera vez que la financiación empresarial de I+D en nanotecnología supere la investigación financiada con fondos públicos.[154] Es probable que el destino de las tecnologías convergentes a nanoescala se decida en los próximos años. Desafortunadamente, hasta ahora, muchos Gobiernos de la OCDE han actuado como animadores, y no legisladores, al abordar la revolución nanotecnológica. Convencidas de que la convergencia nanotecnológica es el *futuro*, las naciones líderes en nanotecnología, en especial los Estados Unidos, Europa y Japón, se encuentran en una carrera de todos contra todos para asegurarse la ventaja económica: las consideraciones sanitarias y medioambientales son secundarias; las repercusiones socioeconómicas deberán esperar; si no pueden evitarse, las leyes deberán ser voluntarias para no obstaculizar el desarrollo comercial de la I+D en materia de nanotecnología.

Los Gobiernos que negocian en la OMC para conseguir acceso a los mercados deberán tener en cuenta que las tecnologías convergentes están posicionadas para superar al comercio como rasgo distintivo de ventaja comparativa en el siglo XXI. El contexto actual de las negociaciones comerciales en la OMC (o en el marco de acuerdos bilaterales) podría verse transformado por las tecnologías emergentes que modifican los mercados para los productos básicos tradicionales.

En una época en la que tecnologías verdaderamente transformadoras evolucionan con mayor rapidez que las políticas públicas susceptibles de dar respuesta a tales tecnologías, ¿cómo puede la sociedad ejercer el control democrático sobre las nuevas tecnologías y participar en la evaluación de las prioridades de investigación? Es fundamental ampliar la participación de las naciones en desarrollo en la evaluación de la forma en que las tecnologías emergentes tendrían que afectar a su futuro. La sociedad debe adquirir una mejor comprensión de la dirección y las repercusiones de la innovación científica y tecnológica en un contexto sociopolítico más amplio. Con el fin de ser capaces de seguir el ritmo del cambio tecnológico, se precisan planteamientos innovadores que permitan vigilar y evaluar la introducción de nuevas tecnologías. El siguiente apartado da una idea general de recomendaciones políticas destinadas a abordar las necesidades de los países en desarrollo dependientes de productos básicos.

---

[153] Scott Miller y Scott Kilman: “Biotech Crop Battle Heats Up as Strains Mix With Others”, *Wall St. Journal*, 8 de noviembre de 2005, p. 1.

[154] Para información sobre la superación de los fondos públicos por los privados: Marc Airhart: “How Much for Nano?”, Earth & Sky Radio Series, aparecida en abril de 2005 en http://www.earthsky.com/shows/articles/2005-04_howMuch4Nano.php

# VI. RECOMENDACIONES POLÍTICAS

## VI.1 Promoción de estrategias de advertencia y percepción temprana en el seguimiento y la evaluación de la tecnología

### *Investigación e información de advertencia temprana para los países en desarrollo dependientes de productos básicos*

Los estudios de casos presentados en este informe sobre las posibles repercusiones que la nanotecnología podría tener sobre los productos básicos son la primera manifestación del poder del tsunami nanotecnológico. La revolución nanotecnológica afectará a numerosos sectores industriales con potenciales repercusiones sobre casi todos los productos básicos. Además, es necesario realizar con urgencia una investigación exhaustiva que proporcione información de advertencia temprana a las naciones en desarrollo dependientes de productos básicos.

El Fondo Común para los Productos Básicos, una institución financiera intergubernamental con sede en Amsterdam, podría desempeñar un papel importante en la facilitación y financiación de investigación adicional. El actual plan de acción de cinco años del Fondo Común dirige sus actividades a productos básicos de interés para los PMA y para los estratos pobres de sus poblaciones. Los Gobiernos deben solicitar al Fondo Común para los Productos Básicos que lleve a cabo investigaciones sobre las consecuencias de la nanotecnología en los productos básicos, con una atención especial en los sectores vulnerables de los países en desarrollo dependientes de productos básicos, incluidos los productos textiles, agrícolas (bebidas tropicales, caucho) y los minerales estratégicos. Según las directrices del Fondo Común, todas las propuestas de proyectos deben remitírsele a través del International Commodity Body (Organización Común para los Productos Básicos). Es posible y debe alentarse el financiamiento conjunto por parte de los Gobiernos y los organismos de las Naciones Unidas. Los Gobiernos deberían consultar a las Organizaciones Comunes para los Productos Básicos y solicitar que las propuestas de proyectos se remitan al Fondo Común para evaluar las oportunidades y los desafíos que la nanotecnología supone para los países en desarrollo dependientes de productos básicos.

### *Reforzar la capacidad del sistema de Naciones Unidas para llevar a cabo una evaluación tecnológica para el desarrollo*

La nanotecnología emergente requiere una evaluación científica, socioeconómica y social con el fin de que los Gobiernos tomen decisiones fundamentadas sobre sus riesgos y beneficios, y su valor final. Esto es especialmente importante para los países en desarrollo dependientes de productos básicos. Lamentablemente, cuando la sociedad necesita más que nunca una evaluación y seguimiento de la tecnología, se dispone de pocos recursos para alcanzar tales objetivos. En la actualidad, la nanotecnología y las tecnologías emergentes en general se desarrollan fuera del radar del sistema de las Naciones Unidas.

En las últimas décadas, el sistema de Naciones Unidas ha perdido su capacidad para llevar a cabo un seguimiento y una valoración de la tecnología. Por ejemplo, en 1992, la Comisión de las Naciones Unidas de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CCTD) se convirtió en un organismo subsidiario del Consejo Económico y Social, donde opera con una cantidad muy reducida de personal y financiación. (Los servicios administrativos de la CCTD son gestionados por la Red de Ciencia y

Tecnología para el Desarrollo dentro de la UNCTAD.) Se necesitan nuevas habilidades en los ámbitos de la evaluación y el seguimiento de la tecnología, en especial para las naciones en desarrollo dependientes de productos básicos. Los Gobiernos deben solicitar a las Naciones Unidas que refuercen su capacidad para ayudar a sus miembros en el ámbito de la evaluación y el seguimiento de la tecnología. Con el fin de evitar lagunas o distorsiones legislativas internacionales, los Gobiernos deben colaborar a través de los organismos especializados de las Naciones Unidas para garantizar la salud y la seguridad de trabajadores y consumidores, para salvaguardar el medio ambiente y la diversidad biológica, y para asegurar el bienestar socioeconómico de las personas en todos los países.

***Supervisión de empresas con actividad en el ámbito tecnológico***

Si las tendencias actuales continúan, las empresas multinacionales pronto dominarán la inversión mundial, la I+D y las ventas de productos nanotecnológicos en múltiples sectores industriales. Es por lo tanto importante controlar las prácticas y las tendencias empresariales en materia de tecnología. En 1974, las Naciones Unidas crearon el Centro de Empresas Transnacionales, pero su programa perdió fuerza y el Centro interrumpió sus operaciones en 1993. Después de su cierre, las fusiones empresariales a escala mundial se multiplicaron por siete (pasando de 0,5 a 3,4 billones de dólares de los EE. UU. por año) y el sector de la tecnología mundial experimentó un auge. A causa de las enormes repercusiones potenciales en la sociedad y el desarrollo, la comunidad internacional debe adquirir nuevamente la capacidad para realizar un seguimiento de las actividades de las empresas transnacionales, en particular respecto al control de la plataforma tecnológica y al poder monopolístico.

***Tecnología y diversidad***

De la misma forma que la dependencia de unos pocos productos básicos coloca a los países en desarrollo en una posición económica vulnerable, la dependencia de nuevas tecnologías no verificadas también implica riesgos potenciales. En última instancia, la sociedad debe mantener y poner en práctica de forma activa una diversidad de tecnologías viables que sean apropiadas desde el punto de vista social, económico y medioambiental. Si las tecnologías deben usarse para dar respuesta a varias necesidades sociales en contextos culturales diversos, es importante que tanto los donantes como los receptores de ayuda extranjeros sean conscientes de la necesidad de mantener diversas tecnologías (tanto antiguas como nuevas) y de reconocer y alentar la innovación tecnológica indígena, que suele pasarse por alto ante la presión por aceptar la introducción de una tecnología dominante.

***Nanotecnología y propiedad intelectual***

La propiedad intelectual desempeña hoy un importante papel en el desarrollo de la ciencia y la tecnología, y ya está en marcha la carrera por ganar el control monopolístico del colosal mercado de la nanotecnología. Se necesitan estudios para examinar las consecuencias de la propiedad intelectual y de la nanotecnología. Los Gobiernos deben solicitar a la OMPI que realice estudios para examinar las consecuencias particulares de la propiedad intelectual de productos nanotecnológicos respecto de las prácticas monopolísticas, la transferencia de tecnología y el comercio, en especial para los países en desarrollo.

***Consecuencias sociales y éticas de las tecnologías convergentes***

La integración de materia viva e inerte a nanoescala (nanobiotecnología, también conocida como biología sintética) es un campo naciente que suscita entusiasmo y discusiones dentro de la comunidad

científica. En la actualidad, los investigadores construyen *máquinas biológicas* (organismos híbridos que emplean tanto la materia biológica como la no biológica) en ausencia de un escrutinio público o de normas de reglamentación. Aunque el campo de la biología sintética pueda parecer algo distante, la fusión de materia viva y no viva avanza con rapidez y da pie a toda una serie de preocupaciones éticas y medioambientales de gran alcance, que deben ser abordadas por los Gobiernos y la sociedad civil. Si este esfuerzo se pospone por 10 años, será demasiado tarde. Los Gobiernos deben exigir a la Comisión de Derechos Humanos que realice estudios sobre las consecuencias sociales y éticas de la biología sintética y la nanotecnología, sobre todo para personas discapacitadas o poblaciones marginadas del mundo en desarrollo.

### *Repercusiones en la diversidad biológica y el medio ambiente*

La nanotecnología permite actualmente el desarrollo de aplicaciones para la agricultura y los alimentos, y se prevé la liberación a gran escala de partículas y dispositivos a nanoescala en el medio ambiente. Las partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), en su próxima Conferencia de las Partes (COP8), que se celebrará en Brasil (del 20 al 31 de marzo de 2006), deben solicitar que el CDB incorpore en su programa de trabajo la cuestión de las nanobiotecnologías emergentes, así como las potenciales repercusiones en el medio ambiente y la biodiversidad.

### *Reforma agraria*

El Gobierno de Brasil será el anfitrión de la Conferencia Internacional sobre Reforma Agraria y Desarrollo Rural (CIRADR), que se celebrará entre el 7 y el 10 de marzo de 2006 en Porto Alegre. El tema de la conferencia, organizada por la FAO, es «Nuevas opciones y desafíos para revitalizar las comunidades rurales». Los Gobiernos que participen en la reunión deben pedir que se aborde, en la conferencia, el tema de la nanotecnología y las potenciales consecuencias para las comunidades agrícolas y los mercados de productos básicos.

### *Planteamiento multilateral jurídicamente vinculante*

En lugar de plantear la evaluación tecnológica de forma poco sistemática, los Gobiernos deben considerar las estrategias a largo plazo para abordar de forma permanente la introducción de nuevas e importantes tecnologías. Para poder liberarse de los ciclos de crisis que acompañan la introducción de cada nueva tecnología, la comunidad internacional necesita un organismo independiente que se dedique a evaluar las tecnologías nuevas e importantes y que proporcione un sistema de advertencia y percepción tempranas. Una posibilidad es el establecimiento de un marco intergubernamental que, en el marco de las discusiones, podría llamarse International Convention on the Evaluation of New Technologies – ICENT (Convención Internacional para la Evaluación de Nuevas Tecnologías). El objetivo de la ICENT sería crear un entorno sociopolítico y científico para una evaluación adecuada y oportuna de nuevas tecnologías en un proceso participativo y transparente que apoye el entendimiento social, aliente la innovación social y científica, y facilite la distribución equitativa de beneficios. Además, el marco intergubernamental también garantizaría la conservación de tecnologías útiles, convencionales o distintivas de una cultura y, en particular, fomentaría la diversificación y la descentralización tecnológicas.

La ICENT podría negociarse a través de un organismo especializado, como la UNCTAD o la Organización Internacional del Trabajo (OIT), o a través de la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible (CDS) del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas (ECOSOC). El proceso de negociaciones de las Naciones Unidas para elaborar un acuerdo internacional como la ICENT también estimularía una discusión de alto nivel y en amplios sectores sociales, y alentaría iniciativas

legislativas e institucionales tanto a escala nacional como regional, que completarían un acuerdo internacional.

## VI.2 Aumentar la participación de los países en desarrollo dependientes de productos básicos en las decisiones en materia de nanotecnología

Las decisiones en materia de nanotecnología exigen transparencia y una amplia participación internacional. Hasta la fecha, sólo los Gobiernos de unos cuantos países en desarrollo de ingresos medios han participado en discusiones multilaterales sobre política nanotecnológica. Las Naciones Unidas y sus organismos especializados han sido ampliamente dejados de lado en estas discusiones, al igual que las aportaciones de la sociedad civil y los movimientos sociales.

### *Ampliar el debate más allá de los riesgos para la salud y la seguridad*

Durante el pasado año, muchos Gobiernos y organizaciones de países de la OCDE han celebrado reuniones para discutir los potenciales riesgos para la salud, la seguridad y el medio ambiente asociados con la nanotecnología (y las cuestiones de reglamentación). Los Gobiernos de los países en desarrollo deben participar en las discusiones y hacer un seguimiento de las mismas. En colaboración con la sociedad civil y en cooperación con científicos, los Gobiernos nacionales deben establecer un régimen de reglamentación *sui géneris*, basado en el principio de precaución y diseñado específicamente para abordar las cuestiones de salud y medio ambiente asociadas a los materiales de nanoescala. Los riesgos para la salud y la seguridad relacionados con la nanotecnología son cuestiones importantes para la comunidad internacional. Sin embargo, es fundamental que las discusiones sobre reglamentación no se limiten a asuntos sanitarios, de seguridad y medioambientales, sino que también incluyan la discusión de repercusiones socioeconómicas más amplias, en particular respecto de los países en desarrollo dependientes de productos básicos; el control y la titularidad de las tecnologías y las repercusiones en los pueblos marginados. A menos que los Gobiernos se apresuren a poner esto en práctica, el debate será limitado y no tomará en consideración las repercusiones socioeconómicas a largo plazo.

### *Tiempo de preparación*

Dado que ningún Gobierno ha desarrollado reglamentaciones para dar respuesta a los riesgos únicos de la nanotecnología, es posible que los Gobiernos necesiten contar con tiempo adicional y mejorar sus habilidades para formular normas adecuadas y políticas sociales relacionadas con la nanotecnología. Con el fin de realizar evaluaciones más amplias de la ciencia y la tecnología de nanoescala, incluidas las repercusiones de la propiedad intelectual, los Gobiernos del Sur podrían tomar en consideración la fijación de un periodo de moratoria en relación con la nanotecnología, hasta que hayan entrado en vigor las reglamentaciones que protejan a los trabajadores, a los consumidores y al medio ambiente, y hasta que se hayan considerado de forma más amplia las repercusiones sociales.

A causa del amplio y potente alcance de las nanotecnologías en todos los sectores de la economía, es importante contar con una visión a largo plazo y totalmente actualizada de estas tendencias. Por este motivo, los Gobiernos deben trabajar de forma conjunta no sólo con expertos científicos, la industria y otros Gobiernos, sino que también deben incluir a la sociedad civil y los movimientos sociales para poder adquirir perspectivas múltiples de las tecnologías emergentes.

***Iniciativa Sur/Sur para la planificación en materia de nanotecnología***

Los Gobiernos del Sur, y en particular los países en desarrollo dependientes de productos básicos, deben considerar el patrocinio de una serie de reuniones, que congregarían a los sindicatos y a las organizaciones de agricultores, campesinos y productores de los países en desarrollo para aprender y discutir sobre las posibles consecuencias de la nanotecnología en los trabajadores y las economías del Sur, para compartir información y adoptar estrategias.

Los países en desarrollo dependientes de productos básicos deben tener la capacidad de hacer un seguimiento y participar en reuniones internacionales sobre políticas nanotecnológicas, incluida la elaboración de normas en materia de de nanotecnología (*véase* más abajo). La proliferación de reuniones a puerta cerrada y de diálogos organizados sólo para invitados es un indicio de la imperiosa necesidad de la participación de las Naciones Unidas en este ámbito.

Las reuniones sobre política y medidas nanotecnológicas incluirían, por ejemplo:

***Diálogo Internacional sobre investigación y desarrollo responsables en materia de nanotecnología***

El International Dialogue on Responsible Research and Development of Nanotechnology (Diálogo Internacional sobre Investigación y Desarrollo responsables en materia de Nanotecnología) fue una de las primeras iniciativas que reunió a representantes de 25 programas nacionales de nanotecnología, más la Unión Europea, en junio de 2004 cerca de Washington DC. (La Argentina, el Brasil, China, la India, la República de Corea, México, Singapur y Sudáfrica se encontraban entre los participantes.) En la primera reunión, celebrada a puerta cerrada, se discutió sobre la necesidad de normas y de diálogo social, y también se propuso la creación de un *código de conducta* interno para el desarrollo de la nanotecnología. Se celebró una segunda reunión del grupo en Bruselas, el 14 y 15 de julio de 2005. Los 13 países presentes en esta segunda reunión a puerta cerrada no pudieron alcanzar un consenso. A causa de la oposición del Gobierno de los Estados Unidos a un código formal de conducta para la nanotecnología, los Gobiernos prometieron trabajar para lograr un «marco de principios compartidos». Se han previsto futuras reuniones del grupo en 2006.

***Taller de la OCDE sobre la seguridad de los nanomateriales fabricados***

La OCDE organiza un taller en Washington DC, del 7 al 9 de diciembre de 2005, para discutir las definiciones, nomenclatura y caracterización de los materiales a nanoescala y los marcos normativos destinados a regular los efectos de la nanotecnología sobre la salud humana, la seguridad y el medio ambiente.

***Normas internacionales***

La nanopolítica es algo tan nuevo que incluso hoy deben determinarse la definición y las normas en materia de nanotecnología. La mayoría de los actores están de acuerdo en que se necesitan normas uniformes para mantener una industria nanotecnológica mundial. Una descripción, terminología y medición común para los materiales a nanoescala tendrán una gran repercusión en el comercio de los productos básicos (por ejemplo, los nanotubos de carbono), la normativa internacional para los regímenes de nanopatentes, la transferencia tecnológica, la responsabilidad y el etiquetado, así como en los acuerdos internacionales y las reglamentaciones nacionales relacionadas con el control o las pruebas de seguridad de los nanomateriales. El establecimiento de normas internacionales es complicado y su consecución podría llevar tres o más años. Cada nación es plenamente consciente de que las normas internacionales pueden afectar su propia posición y compiten por ser las primeras en

establecer las normas. China, los Estados Unidos, el Japón y la Unión Europea son algunos de los actores más destacados en el establecimiento de normas internacionales. En última instancia, serán los organismos tales como la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) los responsables de establecer y armonizar las normas internacionales. El British Standards Institute (Instituto Británico de Normalización) es el encargado de coordinar la campaña de la ISO para las normas de nanotecnología.

### *Iniciativa de diálogo mundial sobre la nanotecnología y la pobreza*

Una iniciativa actual, el *Global Dialogue on Nanotechnology and the Poor: Opportunities and Risks* (Diálogo mundial sobre la nanotecnología y la pobreza: oportunidades y riesgos), recibe el apoyo de la Fundación Rockefeller, el International Development Research Centre (Centro de Investigación de Desarrollo Internacional) de Canadá y el Department for International Development (Departamento de Desarrollo Internacional) del Reino Unido.[155] Para que el diálogo sea útil, debe contar con aportaciones de representantes del mundo en desarrollo, sobre todo de los países en desarrollo dependientes de productos básicos, y de aquellas poblaciones más vulnerables a las repercusiones perjudiciales de la nanotecnología. Debería invitarse a los representantes de los sindicatos, los movimientos sociales y la sociedad civil de los países en desarrollo a fin de garantizar que se examinan las potenciales repercusiones de la nanotecnología teniendo en cuenta los amplios y diversos grupos de interés.

[155] Para más información, *véase*: http://www.nanoandthepoor.org/

## APÉNDICE

**Cuadro 1**
**Proporción de los tres productos básicos principales en las exportaciones totales de los países dependientes de productos básicos**

| Clasificación | País | Proporción media (%) 1990-1999 | Tres productos básicos principales entre 1997 y 1999 |
|---|---|---|---|
| 1 | Islas Salomón | 97,06 | Maderas no coníferas, productos pesqueros, aceite de palma |
| 2 | Brunei Darussalam | 95,87 | Combustibles, carne de ave, coles |
| 3 | Botswana | 94,59 | Diamantes clasificados, carne de bovino, cueros y pieles |
| 4 | Níger | 94,00 | Uranio, animales vivos, tabaco |
| 5 | Iraq | 93,43 | Combustibles, dátiles, cueros y pieles |
| 6 | Kuwait | 93,10 | Combustibles, azufre, jugos de frutas nep |
| 7 | Jamahiriya Árabe Libia | 92,98 | Combustibles, productos pesqueros, cueros y pieles |
| 8 | Groenlandia | 92,83 | Productos pesqueros, combustibles, cueros y pieles |
| 9 | Gabón | 91,81 | Combustibles, maderas no coníferas, mineral de manganeso |
| 10 | Turkmenistán | 91,56 | Combustibles, fibra de algodón, vinos |
| 11 | Congo | 91,17 | Combustibles, maderas no coníferas, azúcar |
| 12 | Kiribati | 89,28 | Productos pesqueros, copra, materias primas (incluidas las flores) |
| 13 | Argelia | 88,99 | Combustibles, fosfato de calcio natural, dátiles |
| 14 | Arabia Saudita | 88,95 | Combustibles, azufre, productos lácteos y huevos |
| 15 | Antillas Neerlandesas | 88,91 | Combustibles, arroz, azúcar |
| 16 | Rep. Democrática del Congo (ex Zaire) | 88,88 | Diamantes clasificados, café verde y tostado, maderas no coníferas |
| 17 | Suriname | 88,63 | Alúmina (óxido de aluminio, hidróxido), arroz, combustibles |
| 18 | Nigeria | 86,94 | Combustibles, cacao y productos, caucho natural |
| 19 | Comoras | 86,75 | Vainilla, aceites esenciales nep, clavo de olor (entero y tallos) |
| 20 | Burundi | 86,57 | Café verde y tostado, té, azúcar, |
| 21 | Guinea Ecuatorial | 83,88 | Combustibles, maderas no coníferas, cacao y productos |
| 22 | Yemen | 83,65 | Combustibles, productos pesqueros, café verde y tostado |
| 23 | Guinea-Bissau | 81,96 | Nueces, productos pesqueros, fibra de algodón |
| 24 | Irán (República Islámica del) | 81,58 | Combustibles, nueces, aceite de soja |
| 25 | Omán | 81,56 | Combustibles, tabaco, productos pesqueros |
| 26 | Santo Tomé y Príncipe | 81,32 | Cacao y productos, productos pesqueros, café verde y tostado |
| 27 | Venezuela | 81,32 | Combustibles, mineral y concentrados de hierro, tabaco |
| 28 | Etiopía | 80,28 | Café verde y tostado, cueros y pieles , semillas de sésamo |
| 29 | Angola | 79,88 | Combustibles, diamantes clasificados, café verde y tostado |
| 30 | Qatar | 78,72 | Combustibles, animales vivos, azufre |
| 31 | Ecuador | 77,75 | Combustibles, bananos, productos pesqueros |

| Clasificación | País | Proporción media (%) 1990-1999 | Tres productos básicos principales entre 1997 y 1999 |
|---|---|---|---|
| 32 | Jamaica | 77,61 | Alúmina (óxido de aluminio, hidróxido), azúcar, bauxita |
| 33 | Malawi | 76,52 | Tabaco, té, azúcar |
| 34 | Mauritania | 75,60 | Mineral y concentrados de hierro, productos pesqueros, combustibles |
| 35 | Maldivas | 74,92 | Productos pesqueros, maderas no coníferas, copra |
| 36 | República Centroafricana | 70,00 | Diamantes clasificados, maderas no coníferas, fibra de algodón |
| 37 | Cuba | 69,49 | Azúcar, tabaco, productos pesqueros |
| 38 | Uganda | 68,37 | Café verde y tostado, productos pesqueros, materias crudas (incluidas las flores) |
| 39 | República Árabe Siria | 68,20 | Combustibles, fibra de algodón, tomates |
| 40 | San Vicente y las Granadinas | 67,90 | Bananos, trigo y harina, azúcar |
| 41 | Zambia | 67,83 | Cobre refinado, azúcar, fibra de algodón |
| 42 | Bahrein | 67,81 | Combustibles, mineral y concentrados de hierro, aceite de palma |

Fuente: Basado en información de la UNCTAD

## Cuadro 2
## Principales productores de productos básicos seleccionados

| **Producto básico/ Año de notificación** | **Productor principal (% de la producción total)** | **Otros productores principales** | **Producción total** |
|---|---|---|---|
| Bauxita/2003 | Australia (38%) | Guinea (11%)<br>Jamaica (9.2%)<br>Brasil (9.0%)<br>China (8.6%) | 146 millones t |
| Mineral de hierro/2003 | China (22,4%) | Brasil (18.2%)<br>Australia (16.1%) | 1.164 millones t |
| Cacao/2004-05 | Côte d'Ivoire (40,6%) | Ghana (19%)<br>Indonesia (13%) | 2,13 millones t |
| Cobre/2002 | Chile (33,7%) | Indonesia (8.5%)<br>Estados Unidos (8.4%)<br>Australia (6.5%) | 13,6 millones t |
| Algodón/2003- 2004 | China (27%) | Estados Unidos (19%)<br>India (13%)<br>Pakistán (9%) | 94,495 millones de pacas (480 libras por paca) |
| Oro/2003 | Sudáfrica (15%) | Australia (11%)<br>Estados Unidos (11%)<br>China (8%)<br>Rusia (7%)<br>Canadá (5%) | 2,59 millones kg |
| Níquel/2002 | Rusia (23%) | Australia (16%)<br>Canadá (13%)<br>Indonesia (9%)<br>Nueva Caledonia (7%) | 1,34 millones t |
| Platino/2003 | Sudáfrica (74%) | Rusia (18%)<br>Canadá (4%)<br>Estados Unidos (2%)<br>[Zimbabwe] | 205.000 kg |
| Caucho (natural)/2001 | Tailandia (32%) | Indonesia (22.1%)<br>India (8.9%)<br>Malasia (7.7%)<br>China (6.3%)<br>Viet Nam (4.4%) | 7,13 millones t |
| Plata/2003 | Perú (15%) | México (14%)<br>China (13%)<br>Australia (10%)<br>Estados Unidos (7%) | 18.700 t |
| Estaño/2003 | Indonesia (34%) | China (24%)<br>Perú (19%) | 209.000 [t] |
| Titanio (concentrados de ilmenita)/2003 | Australia (35%) | China (14%)<br>Noruega (14%)<br>Ucrania (11%)<br>India (9%) | 5,91 millones t |
| Titanio (óxido)/2003 | Australia (36%) | Sudáfrica (32%)<br>Ucrania (16%) | 374.000 t |

*Fuente: The CRB Commodity Yearbook 2005* (Commodity Research Bureau, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2005, print source)

# GLOSARIO

**Aerogel**: sustancia sólida similar al gel en la que se reemplaza la fase líquida por gas. Los aerogeles pueden estar compuestos de diferentes materiales.

**Aleación:** combinación de dos o más elementos químicos, de los cuales, al menos uno, debe ser un metal. Toda aleación tiene propiedades metálicas.

**Átomo:** partícula de una materia que define de forma única un elemento químico. Consiste en un núcleo rodeado de uno o más electrones. Cada electrón tiene una carga negativa. El núcleo tiene una carga positiva y contiene partículas conocidas como protones y neutrones.

**Autoensamblaje:** método de integración en el que los componentes se juntan de forma espontánea, por lo general rebotando en una solución o fase gaseosa hasta que se alcanza una estructura estable de energía mínima. Los componentes de una estructura autoensamblada encuentran su posición apropiada basándose únicamente en sus propiedades estructurales (o propiedades químicas en el caso del ensamblado atómico o molecular), proceso en el que la diferencia de energía entre el estado inicial y final constituye la fuerza motriz.

**Biología sintética:** construcción de nuevos sistemas vivientes en laboratorio, que pueden programarse para que desempeñen tareas específicas. Cuando la biología sintética involucra la integración de partes vivas y sin vida a nanoescala, es sinónimo de la nanobiotecnología.

**Catalizador:** sustancia capaz de producir la catálisis, que es la aceleración de una reacción química mediante la reducción de la barrera energética. La definición estricta de catálisis requiere que el catalizador permanezca inalterado al finalizar la reacción.

**Convertidor catalítico:** dispositivo que se utiliza para reducir las emisiones de un motor de combustión interna.

**Efectos cuánticos:** fenómenos que pueden observarse a escala atómica (aproximadamente menos de 100 nm). Estos fenómenos son distintos de los que pueden observarse a mayores escalas.

**Electrodo:** conductor que se utiliza para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito.

**Elastómero:** polímeros que han sido sometidos al proceso químico de vulcanización. Con frecuencia, los términos elastómero y caucho se empelan indistintamente.

**Fabricación molecular/ nanotecnología molecular:** método para crear productos mediante una maquinaria molecular, que permite el control, molécula por molécula, de los productos y subproductos mediante una síntesis química posicional.

**Fullereno o Bola de Bucky (***buckyball* o *fullerene* en inglés)**:** su nombre completo es buckminsterfullerene. Se lo llamó así en honor al arquitecto R. Buckminster Fuller, inventor del domo geodésico. Los fullerenos fueron descubiertos en 1985 por Robert Curl, Harold Kroto y Richard Smalley; están compuestos de 60 átomos de carbono dispuestos como los hexágonos y pentágonos de un balón de fútbol (como un domo geodésico). En 1996, Curl, Kroto y Samlley compartieron el Premio Nobel de química por su descubrimiento. El fullereno es el precursor del nanotubo, descubierto en 1991 por Sumio Iijima.

**Haz de patentes:** conjunto de patentes que se superponen y exige a aquéllos que procuran comercializar o utilizar una nueva tecnología que obtengan licencias de varios titulares de patentes.

**Micrón o micrómetro:** medida de longitud que equivale a mil nanómetros.

**Microscopía de barrido por sonda (SPB** por sus siglas en inglés**):** término general que se utiliza para referirse al barrido de una punta como la de una aguja a través de la superficie de una muestra para crear una representación gráfica de los contornos de la muestra.

**Microscopio de barrido en túnel (STM** por sus siglas en inglés): instrumento que desplaza una punta como la de una aguja, conductora de electricidad, a ras de una superficie también conductora de electricidad. La punta y la superficie están conectadas eléctricamente de tal modo que la corriente circula si ellas se tocan, como sucede con un interruptor. La corriente fluye cuando dos átomos entran en contacto, uno en la superficie y el otro en la punta de la aguja. Cuando se desplaza delicadamente la aguja sobre la superficie, manteniendo siempre el flujo de corriente a un nivel constante, el microscopio traza un mapa de los contornos de la superficie con gran precisión. El microscopio de barrido en túnel fue desarrollado por un laboratorio de investigación de IBM, en Zurich (Suiza), entre la década de 1970 y 1980 y puede utilizarse para 'levantar' átomos y trasladarlos. Si se aumenta el voltaje cuando la aguja está posicionada sobre el átomo, éste quedará pegado a la punta de la aguja. Así, el átomo puede trasladarse y posicionarse mientras se mantiene unido a la punta de la aguja. Cuando se disminuye el voltaje, el átomo se desprende de la punta y se lo puede colocar en el lugar deseado (K. Eric Drexler, *Unbounding the Future*, pp. 92 a 94).

**Microscopio de fuerza atómica (**AFM por sus siglas en inglés**):** es un ejemplo de microscopio de barrido por sonda. Este microscopio permite la interacción con la materia a pequeña escala, al nivel de las moléculas. La punta de un microscopio de fuerza atómica está unida al extremo de un brazo voladizo muy sensible. Esta punta toca la superficie de la muestra a examinar, proceso en el que la fuerza de contacto es mínima. El microscopio mide y registra los pequeños movimientos ascendentes y descendentes que se necesitan para mantener una fuerza constante en la muestra. La punta 'roza' la superficie como cuando un dedo acaricia una mejilla. Debido a que el contacto debe ser delicado para no destruir la muestra, se han desarrollado diferentes métodos, incluido uno que permite dar un golpe suave a la muestra a intervalos inimaginablemente cortos a medida que la punta se desplaza a través de la superficie. El microscopio de fuerza atómica se desarrolló después del microscopio de barrido en túnel y se diferencia de este último en que hace contacto con el material en lugar de basarse en una corriente eléctrica que fluye entre el microscopio y el material. Esto hace posible visualizar materiales no conductores a nanoescala.

**Molécula:** conjunto de átomos unidos por fuertes enlaces químicos.

**Nano:** del latín *nanus*, enano. Elemento que se ha convertido en uno de los prefijos más conocidos (y utilizados en exceso) del siglo XXI. Nano corresponde a la escala del nanómetro y equivale a una milmillonésima parte del metro.

**Nanobiotecnología:** integración de los materiales biológicos y sintéticos a nanoescala para producir nuevas estructuras moleculares. *Véase* **biología sintética**.

**Nanocompuesto:** nueva clase de materiales que se obtienen a partir de la incorporación de nanopartículas a los polímeros. En términos generales, un compuesto se refiere a todo aquello que esté compuesto de partes o elementos dispares.

**Nanómetro:** medida de longitud que equivale a la milmillonésima parte del metro.

**Nanopartícula:** materia compuesta de un elemento individual o de un compuesto simple de elementos y, por lo general, con menos de 100 nanómetros de diámetro. El término puede referirse a una amplia gama de materiales, incluidas las partículas que eliminan los automóviles como gases de

combustión. El compuesto creado por química tradicional tendrá un conjunto de propiedades. Si ese mismo compuesto se manipula para formar nanopartículas, puede contar con capacidades mejoradas e incluso propiedades totalmente nuevas. Las nanopartículas pueden manipularse, en el caso de los compuestos, mediante la evaporación de un sólido, la adición de un gas reactivo y el enfriamiento de las moléculas vaporizadas, que se condensan en nanopartículas. También se pueden obtener nanopartículas puramente metálicas mediante las técnicas de evaporación y condensación, pero se desarrollan métodos más creativos, tales como la extracción a nanoescala del oro absorbido por las plantas de alfalfa.

**Nanotubo:** molécula con forma de cilindro que se asemeja a una tela metálica enrollada. Los nanotubos pueden estar compuestos de diferentes sustancias, pero la mayor parte de la investigación sobre nanotubos se centra en tubos de átomos de carbono puros. Los nanotubos de carbono son 100 veces más fuertes que el acero, insensibles a temperaturas de hasta 6.500 grados Fahrenheit y tienen un diámetro de sólo uno a unos pocos nanómetros. Los nanotubos de carbono pueden ser buenos conductores de la electricidad y del calor. Si se enrolla un nanotubo de forma uniforme, cual una hoja de papel, con los bordes superior e inferior alineados, el nanotubo actúa como un conductor metálico transmitiendo electricidad de forma eficaz. Si se enrolla un nanotubo de carbono de forma oblicua, como una camisa mal abotonada, sus propiedades eléctricas cambian para asemejarse a las de un semiconductor del tipo de silicona en el que puede establecerse o interrumpirse la corriente. Un transistor necesita nanotubos semiconductores. (Kenneth Chang, *New York Times*, 27 de marzo de 2001).

**Paladio:** elemento químico, de número atómico 46 y cuyo símbolo es Pd. El paladio es un metal de color blanco plateado del grupo del platino, que se parece químicamente al platino y se extrae de los minerales de cobre y níquel. Se usa principalmente como un catalizador industrial y en la joyería.

**Pila de combustible:** dispositivo similar a una batería, que se diferencia de ella en que está diseñado para recargar de forma continua los reactivos consumidos, es decir, produce electricidad a partir de una fuente de combustible externa de hidrógeno y oxígeno frente a la limitada capacidad de almacenamiento interno de energía de una batería. Además, mientras que los electrodos de una pila de combustible son catalíticos y relativamente estables, los electrodos de una batería reaccionan y cambian a medida que la batería se carga y se descarga.

**Platino:** elemento químico de número atómico 78 que en la tabla periódica recibe el símbolo Pt. El platino es conocido por sus importantes propiedades catalíticas.

**Polímero:** sustancia, natural o sintética, que consiste en una larga cadena de moléculas que se obtienen ya sea por adición de numerosas moléculas más pequeñas o por condensación de muchas moléculas más pequeñas con la eliminación del agua, del alcohol y otros elementos similares.

**Punto cuántico:** nanopartículas (de unos pocos a unos miles de átomos) con extraordinarias propiedades ópticas, que pueden modificarse al cambiar el tamaño o la composición de la partícula. Los puntos cuánticos absorben luz y la reemiten rápidamente pero con un color distinto; la luz puede adaptarse a toda longitud de onda al cambiarse simplemente el tamaño de los puntos. Son útiles para etiquetados biológicos en los diagnósticos y desarrollos de medicamentos.

**Tabla periódica:** lista completa de todos los elementos químicos conocidos (en la actualidad, aproximadamente 115), clasificados en filas y columnas según sus propiedades químicas. El químico ruso Dimitri Mendeleyev elaboró la primera lista en 1869, que incluía alrededor de 60 elementos.

## BIBLIOGRAFÍA


- Adnan, H.: "Malaysian rubber riding high on China market", Malaysian Rubber Board, septiembre de 2005.

- Airhart, M.: "How Much for Nano?", Earth & Sky Radio Series, abril de 2005, disponible en http://www.earthsky.com/shows/articles/2005-04_howMuch4Nano.php

- Bai, C.: "Ascent of Nanoscience in China," *Science*, vol. 309, julio de 2005.

- Baker, M. (Sheer Energy): "Thinner, cheaper fuel cell catalysts", *Technology Review*, junio de 2005.

- Barusiak, M. F. y otros: *A Positron Named Priscilla: Scientific Discovery at the Frontier*, National Academy of Sciences, 1994.

- Birdsall, N. y Hamoudi A.: "Commodity Dependence, Trade and Growth: When 'openness' is not enough", Center for Global Development, Working Paper Number 7, mayo de 2002.

- Brockway, L. H.: *Science and Colonial Expansion*: *The Role of the British Royal Botanic Gardens*, Nueva York, 1979.

- Broad, W. J.: "With a Push From the U.N., Water Reveals its Secrets", *New York Times*, 26 de julio de 2005.

- Buttel, F., Kinney, M. y Kloppenburg, J. Jr.: "Socio- economic Impact of Project Dislocation," ATAS Bulletin No. 1: Tissue Culture Technology, UN Centre for Science and Technology for Development, Nueva York, 1984.

- Blackwell,G.: "The Wireless Winery", 23 de septiembre de 2004, disponible en whttp://www.wi-fiplanet.com/columns/article/php/3412061

- Carlstrom, P.: "As solar gets smaller, its future gets brighter", San Francisco Chronicle, 11 de julio de 2005.

- Carnegie Mellon news release: "Carnegie Mellon Enhances Quantum Dot Corp. Technology for Long-term, Live-animal Imaging", 19 de enero de 2004.

- Fondo Común para los Productos Básicos: *Datos Básicos*, mayo de 2005.

- Cotriss, D.: "Nanofilters", *Technology Review*, noviembre de 2004.

- Estur, G.: "Cotton: Commodity Profile", International Cotton Advisory Committee, Washington, D.C., junio de 2004.

- ETC Group News Release: "Atomically Modified Rice in Asia?", 25 de marzo de 2004, disponible en http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=444

- ETC Group: "Global Seed Industry Concentration – 2005", septiembre/octubre de 2005, disponible en http://www.etcgroup.org

- ETC Group: *Down on the Farm: The Impact of Nano-scale Technologies on Food and Agriculture*, noviembre de 2004, disponible http://ww.etcgroup.org

- ETC Group: *Nanotech's Second Nature Patents: Implications for the Global South*, junio de 2005, disponible en http://www.etcgroup.org

- Gardner, E.: "Brainy Food: academia, industry sink their teeth into edible nano", *Small Times*, 21 de junio de 2002.

- Goho, A: "Virtual Nanotech: Modeling materials one atom at a time", *Science News*, vol. 165, n° 6, 7 de febrero de 2004.

- Gruenwald, J.: "Patent office struggles to stay ahead of nanotech industry", *Small Times*, 20 de abril de 2004, http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7743

- Headrick, D. R.: *The Tentacles of Progress: Technology Transfer in the Age of Imperialism, 1850–1940*, Nueva York, 1988.

- Headrick, D.: "Botany, Chemistry, and Tropical Development", *Journal of World History* 7, n° 1, lectura 3 (primavera de 1996): 1–20 *Bridging World History*, 1, The Annenberg Foundation copyright, 2004.

- Huang, Z. y otros: "International nanotechnology development in 2003: Country, institution and technology field analysis based on US PTO patent database", *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 6, n° 4, pp. 325 a 354, 2004.

- International Rubber Study Group: *Summary of World Rubber Statistics*, Annual Edition, 2005.

- Invernizzi, N. y Foladori, G.: "Nanotechnology and the Developing World: Will Nanotechnology Overcome Poverty or Widen Disparities?", *Nanotechnology Law & Business Journal*, vol. 2, n° 3, 2005.

- Jaffe A. B. y Lerner J.: *Innovation and its Discontents: How Our Broken Patent System is Endangering Innovation and Progress, and What to Do About It*, Princeton University Press, Princeton, 2004.

- Jonietz, E.: "Power Transmission", *Technology Review*, mayo de 2005.

- Juma, C y Lee Yee-Cheong: "Innovation: applying knowledge in development", UN Millennium Project Task Force on Science, Technology, and Innovation, 2005, disponible en http://bcsia.ksg.harvard.edu/BCSIA_content/documents/TF-Advance2.pdf

- Jurvetson, S.: "Transcending Moore's Law with Molecular Electronics", *Nanotechnology Law & Business Journal*, vol. 1, n°. 1, artículo 9.

- Kelly, M.: "Vermont's Seldon Labs wants to keep soldiers' water pure," *Small Times*, 26 de abril de 2004, http://smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7764

- Lawrence, S.: "Nanotech Grows Up," *Technology Review*, junio de 2005.

- Lemley M. A. y Neukom W. H.: "Patenting Nanotechnology", manuscrito sin publicar enviado al Grupo ETC, marzo de 2005.

- Leo, A.: "The State of Nanotechnology," *Technology Review*, junio de 2002.
- Lieberman, B.: "Nanotech: Rapidly Advancing Science Is Forecast to Transform Society", *San Diego Union Tribune*, 14 de marzo de 2005.
- Lux Research: "Revenue from nanotechnology-enabled products to equal IT and telecom by 2014, exceed biotech by 10 times", 25 de octubre de 2004.
- Lux Research news release: "Nanotechnology Winners and Losers Emerging among Competing Nations, Says Lux Research", 3 de noviembre de 2005.
- Martin-Leakee, H.: "A Historic Memoir of the Indigo Industry of Bihar", *Economic Botany*, 29:361-371, Oct.-Dic., 1975, (Archivo 264).
- Maclurcan, D. C.: "Nanotechnology and Developing Countries, Part 2: What Realities?", *AZoNano – Online Journal of Nanotechnology*, 19 de octubre de 2005, disponible en http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1429
- Maebius, S.: "Ten Patents that Could Impact the Development of Nanotechnology", 2004.
- Miller, S. y Kilman, S.: "Biotech Crop Battle Heats Up as Strains Mix With Others", *Wall St. Journal*, 8 de noviembre de 2005.
- Miller J. C., Serrato R., Represas-Cardenas M. J. y Kundahl G.: The *Handbook of Nanotechnology: Business, Policy and Intellectual Property Law*, John Wiley & Sons, 2005.
- Mooney, D.: "One step at a time", *Nature*, vol. 436, 28 de julio de 2005.
- NASA News: "NASA Awards US$11 Million 'Quantum Wire' Contract to Rice", 22 de abril de 2005, disponible en http://www.nasa.gov/centers/johnson/news/releases/J05-018.html
- New, W.: "Nations Clash On Future Of WIPO Development Agenda", *Intellectual Property Watch*, 11 de abril de 2005, disponible en http://www.ip-watch.org
- Noguchi, R. et al.: English Abstract of "Carbon Nanotubes as Fillers", *The Journal of the Society of Rubber Industry, Japan*, 78(6), 2005.
- Oberdörster, E.: "Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C60) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Large-Mouth Bass", *Environmental Health Perspectives*, vol. 112, n° 10, julio de 2004.
- Parsowith, S.: "These Balls Could Bounce All the Way to Profit", *Business News* (New Jersey), 13 de noviembre de 2001.
- PCAST: "National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel", mayo de 2005, disponible en http://www.ostp.gov/pcast/PCASTreportFINALlores.pdf
- Pease, R.: "'Living' robots powered by muscle", BBC News, 17 de enero de 2005, disponible en http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/4181197.stm

- Raloff J.: "Nano Hazards: Exposure to minute particles harms lungs, circulatory system", Science News Online, vol. 167, n° 12, semana del 19 de marzo de 2005.

- Regalado, A.: "Nanotechnology Patents Surge as Companies Vie to Stake Claim", *Wall Street Journal*, 18 de junio de 2004.

- Roco M.: Entrevista sobre la National Nanotechnology Initiative, disponible en http://www.nano.gov/html/interviews/MRoco.htm

- Rotman D.: "The Nanotube Computer," *Technology Review*, marzo de 2002.

- Russell, E.: "Foods of Tomorrow: The Nuts and Bolts of Nanoscience", International Food Ingredients, *ifi-online.com.*, disponible en http://www.ifi-online.com/Tmpl_Article.asp?contentType=3&ContentID=225

- Salamanca-Buentello F., Persad D. L., Court E. B., Martin D. K., Daar A. R. y Singer P. A.: "Nanotechnology and the Developing World," 12 de abril de 2005, PLoS Med 2(5): e97, disponible en http://medicine.plosjournals.org/perlserv/?request=get-document&doi=10.1371/journal.pmed.0020097

- Thayer A. M.: "Nanotech Investing", *Chemical & Engineering News*, vol. 83, n° 18, 2 de mayo de 2005.

- The Royal Society & The Royal Academy of Engineering: *Nanoscience and nanotechnologies,* julio de 2004, disponible en http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm

- Tullo A. H.: "Synthetic Rubber: Amid a faltering economy, North American producers struggle to hang on in some sectors, while other segments post modest gains", *Chemical & Engineering News*, vol. 81, número 15, 14 de abril de 2003.

- Yu, Z. y Burke, P. J.: "Microwave Transport in Metallic Single-Walled Carbon Nanotube", *Nanoletters*, vol. 5, n° 7, 1403-1406, disponible en http://nano.ece.uci.edu/papers/nl050738k.pdf

**OTROS DOCUMENTOS DE INVESTIGACIÓN DE ESTA SERIE**

Paper 1 -- Overview of the Sanitary and Phytosanitary Measures in QUAD Countries on Tropical Fruits and Vegetables Imported from Developing Countries **(**November 2005)

Paper 2 -- Remunerating Commodity Producers in Developing Countries: Regulating Concentration in Commodity Markets **(**November 2005)

Paper 3 -- Supply-Side Measures for Raising Low Farm-gate Prices of Tropical Beverage Commodities (November 2005)