



Razón y Palabra

Primera revista digital en América
Latina especializada en tópicos de
Comunicación

ISSN 1605-4806

**LAS NANOTECNOLOGÍAS: UN PARADIGMA TECNOLÓGICO EMERGENTE. DINÁMICA Y
ESPECIALIZACIÓN DE LA INNOVACIÓN EN LAS NANOTECNOLOGÍAS**

ALENKA GUZMÁN CHÁVEZ
ALEJANDRO TOLEDO PATIÑO*

Resumen

Este artículo tiene un objetivo doble. Por un lado, caracterizar a las nanotecnologías como un conjunto de conocimientos científicos y tecnológicos que emergen orientándose hacia un nuevo paradigma tecnológico. Por el otro, analizar la naturaleza y el dinamismo de su actividad de innovación. El artículo tiene tres secciones. La primera corresponde a la introducción. En la segunda se reconoce a las nanotecnologías como un paradigma tecnológico emergente. En la tercera, se analiza la dinámica de la actividad de innovación a través de dos indicadores: el gasto en I&D y las patentes, identificando la especialización tecnológica por países y firmas.

Palabras clave: nanotecnologías paradigma tecnológico emergente, I&D, patentes, especialización de la innovación en nanotecnologías

Abstract

This article follows two purposes. By one side, we characterize the nanotechnologies as a scientific and technological knowledge overall, emerging towards a new technological paradigm. This paper has three sections. In the first one, we introduce the topic of the paper. The second one recognizes the nanotechnologies as technological paradigm emerging. In the third section we analyze the innovation dynamics by using two indicators: the R&D expenditure and the patents, identifying the countries and firms technological specialization.

Key words: nanotechnologies emerging technological paradigm, R&D, patentes, nanotechnology innovation specialization

JEL: O03

1. Introducción

*Profesores del Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa; topale2003@yahoo.com.mx y alenka@prodigy.net.mx. Los autores agradecen la colaboración de Rosa Isela Martínez y Yusselin Alamilla en la búsqueda de patentes en la base de datos de la USPTO.

El desarrollo y la difusión de las nanotecnologías auguran un sustantivo impacto en las técnicas y los procesos de producción industrial y, en consecuencia, en el desarrollo económico y social. La velocidad de la difusión de las nanotecnologías se advierte en la creciente y la diversidad de productos que las han incorporado: desde procesadores electrónicos hasta cosméticos, pasando por medicamentos, textiles y levas para motores de automóviles y de aviones. Su notable avance en las principales economías de mundo va acompañado de montos sustantivos de financiamiento público y privado para su investigación y desarrollo. En vías de un potencial desempeño comercial e industrial, las nanotecnologías conforman un campo que progresa rápidamente en descubrimientos e innovaciones. El dinamismo de la innovación en esta área se constata por un sustantivo crecimiento de las patentes nanotecnológicas.

Las nanotecnologías son consideradas por gobiernos, centros de investigación públicos, privados y militares de los principales países del mundo, como un área clave en la convergencia tecnológica en curso (informática-telecomunicaciones, biotecnología y ciencias del cerebro o convergencia nano-cogno-bio-info). El amplio alcance tecnológico de las nanotecnologías, hace de éstas, áreas estratégicas para la competencia industrial, militar y espacial de las próximas décadas. La relevancia de la nanotecnologías, considerada por unos como *gran fenómeno*, se advierte por su número creciente de patentes y de citas en la literatura científica, a las que han antecedido sustantivas inversiones de gobiernos y compañías (ETC Group: 2004, 3). Las patentes y artículos no sólo significan nuevas ideas tecnológicas y científicas, sino implican nuevos productos y procesos en un muy amplio espectro.

En efecto, las nanotecnologías prometen una enorme aplicación potencial en los ámbitos de la economía, la medicina y la protección del medio ambiente: procesos productivos basados en energía barata, no contaminante y con una alta productividad agrícola e industrial, medios informáticos y de comunicación más rápidos y accesibles, eficaces sistemas para administrar y mejorar medicamentos, revolucionarios métodos para almacenar energía o para potabilizar el agua. No obstante, como cualquier novedad, su otra faceta es de incertidumbre y preocupación en relación a los posibles riesgos de su uso para la salud de las personas, animales e incluso el medio ambiente. De especial interés resulta considerar la problemática en torno a su previsible impacto en las economías de países dependientes de la exportación de productos primarios y de

commodities, debido a la sustitución de insumos, desplazamiento de bienes y consecuente desplome de mercados internacionales. Los estudios pioneros del impacto económico y social de las nanotecnologías comienzan a formular y a definir las principales interrogantes: ¿Qué cambios productivos pueden generar? ¿Cómo se relacionan con las nuevas tecnologías? ¿Cuáles son sus dimensiones económicas actuales? ¿Cómo se están configurando las cadenas internacionales de producción en esta naciente tecnología? ¿Qué países comienzan a dominar el mercado mundial de productos y procesos nanotecnológicos? ¿Cómo están impulsando la innovación en este campo gobiernos, universidades y empresas? ¿Qué papel pueden jugar las nanotecnologías en el desarrollo económico de países periféricos? (Meridian Institute, 2005, 2007 ; Invernizzi y Foladori, 2005; Delgado, 2008).

El presente artículo tiene un objetivo doble. Por un lado, visualizar a las nanotecnologías como conocimientos científicos y tecnológicos multidisciplinarios que emergen como nuevos paradigmas científicos y tecnológicos. Por el otro, analizar la naturaleza y el dinamismo de su actividad de innovación. En la siguiente sección se ofrecen las definiciones y nociones científicas e históricas básicas, identificando en principio sus potencialidades, riesgos, aplicaciones y campos de evolución más destacados. En la tercera sección se analiza la dinámica de la actividad de innovación a través de los indicadores relativos a gasto en investigación y desarrollo, I&D, y las patentes, identificando la especialización tecnológica por países y firmas. Finalmente, se presentan las conclusiones más relevantes.

2. Las nanotecnologías: la emergencia de un nuevo paradigma

La trascendencia de la nanotecnología radica en el hecho que implica una revolución en la ciencia y la tecnología basada en las habilidades para medir, manipular y organizar materia a nanoescala (de 1 a 100 mil millones de un metro) en la que convergen de manera multidisciplinaria la física, la química, la biología, materiales científicos e ingeniería (Roco y Bainbridge, 2001). En suma, las nanotecnologías se proponen la *recreación humana de la materia*, su reconfiguración atómica y molecular con propósitos definidos y usos potenciales en los ámbitos de la salud, el medio ambiente y casi todas las industrias. Debido a la interdisciplinariedad que se establece entre los diferentes campos científicos y tecnológicos se abren enormes oportunidades de

investigación y desarrollo, así como potenciales paradigmas en materiales y manufacturas, medicina y salud, medio ambiente y energía, biotecnología y agricultura, electrónica y tecnologías de la información y seguridad nacional. Sus efectos, por tanto, estarán en función de lo que pueda significar la combinación de influencias de las diferentes disciplinas que convergen (Ibíd).

De acuerdo a Abricht et al (2004: 17) se pueden identificar esencialmente cuatro campos de la nanotecnología en los cuales confluyen diferentes disciplinas científicas y tecnologías y los cuales encuentran diversos sectores de aplicación: i) nanometrología/nanoanálisis; ii) la nanobiotecnología /nanomedicina; iii) nanomateriales /nano química/nanoelectrónica/ y y iv) nano-óptica

Antecedentes del desarrollo de la nanotecnología

La materia se comporta de manera diferente a escala nano¹. El universo atómico opera de acuerdo a las aún poco conocidas leyes de la física o mecánica cuántica. Conforme a este campo científico, los electrones se desplazan de órbita al interior del átomo sin pasar por los puntos intermedios en su trayecto (salto cuántico). Adicionalmente, cualquier componente o elemento químico que en tamaño “macro” posee cierto color, consistencia, determinadas propiedades, etcétera, a escala nano puede ser y comportarse de modo muy diferente, del todo distinto incluso (Royal Society, 2004).

El término “nanotecnología” (del latín *nanus*: enano- Real Academia, 1895) se acuñó en 1974 a propuesta del japonés Norio Taniguchi (Universidad de Tokio, Japón) para hacer referencia a la tecnología aplicada a escala atómica y molecular. En la actualidad se distinguen, de manera general, dos tipos o dos vías de desarrollo nanotecnológico (Joch: 2005): la vía de arriba abajo y la vía de abajo a arriba (top-down y bottom-up), una es “la versión dilatada que significa cualquier tecnología que trate con algo de tamaño menor que 100 nanómetros (nm).”, en tanto que la otra consiste en “diseñar y construir máquinas en las cuales cada átomo y enlace químico está precisamente especificado” (Storrs). La primera es la modalidad o versión ligera (*light*) y la segunda es la modalidad dura (*hard*) o compleja.

¹ El nanómetro equivale a la mil millonésima parte de un metro (1 NM= 0.000000001 m; 1 NM =10⁻⁹ m). (Royal Society, 2004: 4; ETC, 2003: 11; Stix, 2001: 32).

Las nanociencias son definidas como el conjunto de disciplinas diversas que buscan comprender las leyes que gobiernan este universo diminuto. Estas tienen como propósito el estudio de las propiedades de la materia a nivel atómico y molecular (propiedades térmicas, eléctricas, magnéticas, ópticas, químicas, etc.). Por tanto, en las nanociencias confluyen un amplio rango de disciplinas científicas: metrólica, ingeniería, biología, química inorgánica y orgánica, física –en todas sus ramas: óptica, termodinámica, electrónica, hidráulica, etcétera. Las nanotecnologías, a su vez, se refieren al conjunto de técnicas y procedimientos que permiten manipular y *reconfigurar atómica y molecularmente la materia* y, por consiguiente, modelar a voluntad sus características y desempeño (Royal Society: 2004)². Al combinar estas tecnologías con los sistemas micro-electro mecánicos (MEMS), el potencial de la computación y los conceptos de diseño basados en sistemas biológicos, se crean las condiciones para el desarrollo de objetos y materiales nano que son capaces de responder a su ambiente (Office of Science & Innovation, 2006: 1).

Por su parte, la Iniciativa Nacional en nanotecnología (NNI) de los Estados Unidos (2000) propone una definición que integra a las nanociencias y a las nanotecnologías y que incluye: “1) investigación y desarrollo tecnológico a niveles atómico, molecular o macromolecular, en la escala de longitud de aproximadamente 1 a 100 nanómetros; 2) creación y uso de estructuras, dispositivos y sistemas que tienen nuevas propiedades y funciones debido a su tamaño pequeño o intermedio; 3) habilidad para controlar o manipular a escala atómica.” En este artículo procedemos a utilizar el término nanotecnología en el sentido amplio, que indica una concurrencia de disciplinas.

La amplia difusión de la nanotecnología y sus enormes potencialidades ocurren desde la segunda mitad de los años ochenta (Drexler, 1986). Aunque, Feynman, precursor de las nanociencias y las nanotecnologías, propuso un modelo científico a finales de los años cincuenta en que se preveía en el futuro la posible fabricación de

² Para la Real Sociedad y Real Academia de Ingeniería del Reino Unido, la nanociencia es “el estudio del fenómeno y manipulación de los materiales a escala atómica, molecular y macromolecular, donde las propiedades difieren significativamente de aquellas a escala mayor” Las nanotecnologías -en plural- las definen, a su vez, como “el diseño, la caracterización, la producción y la aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas mediante el control de forma y tamaño a escala nanométrica”.

nuevos productos a partir del reordenamiento de átomos y moléculas (Kerorguen, 2006).³

Las ideas científicas de Feynman se hicieron posibles con el uso de microscopios electrónicos altamente perfeccionados que permitieron observar y manipular con precisión la materia a escala nano durante la década de los ochenta. El *Scanning Tunneling Microscope* (STM) –microscopio de efecto túnel- fue patentado en 1982. Hacia finales de la misma década el *Atomic Force Microscope* (AFM) -microscopio de fuerza atómica.

El *microscopio de efecto túnel* hace posible ver a escala nanométrica mediante la representación del objeto en una pantalla de computadora y no mediante una ampliación de la imagen del objeto por unos lentes (como sucede con los microscopios ordinarios). El microscopio utiliza una fina “aguja” eléctricamente conductora, que escanea la superficie del objeto a una distancia de solo 10 nm. El flujo de electrones que va de la aguja a la superficie mantiene constante esa distancia. Cuando la superficie se incrementa la aguja también lo hace; y contrariamente si baja, también desciende. De este modo las vibraciones de la aguja permiten trazar gráficamente la imagen de la superficie en una pantalla (ETC, 2003: 13). Además de la observación de estructuras de una escala atómica, este tipo de microscopio permite moverlas y ensamblarlas: al incrementarse el voltaje que corre por la aguja, se logra que los átomos se adhieran –uno a uno- a la punta de la misma; por el contrario, al descender el voltaje, el átomo se “suelta” con lo cual puede ser reubicado de sitio. Con ese procedimiento en 1989 se “levantaron” 35 átomos de xenón (gas inerte) para ser colocados sobre una superficie de cristal de níquel, formando un logotipo de menos de 3 nm., con las letras IBM.⁴ El *microscopio de fuerza atómica* opera con un principio semejante: una “aguja” toca y lee una determinada superficie que se reproduce en una imagen en pantalla. En comparación con el modelo de microscopio precedente, el atómico tiene la ventaja de que funciona con materiales que no son altamente conductores eléctricamente tales como células, tejidos y material biológico en general, lo cual amplía considerablemente el rango de sus aplicaciones biotecnológicas y médicas (ETC, 2003: 14).

³ En la reunión anual de la *American Physics Association*, en diciembre de 1959, Richard P. Feynman, uno de los más destacados físicos teóricos de la segunda generación del siglo XX y premio Nóbel de Física en 1965, dictó la conferencia “There’s a plenty of room at the bottom” (“Hay abundante espacio en el fondo”).

⁴ Los científicos Berd Binnig y Heinrich Rohrer, creadores del STM, obtuvieron en 1986 el premio Nóbel de Física.

A finales de los años ochenta, Curl, Kroto y Smalley⁵, haciendo uso de los microscopios de precisión atómica descritos, descubrieron unas peculiares estructuras de carbono de forma icosaédrica (similares a balones de fútbol): las *Buckyballs* o *fullerenes*⁶ están conformadas por 60 átomos de carbono (C₆₀), los que a su vez se configuran en veinte hexágonos y doce pentágonos. Posteriormente al estudio de las estructuras de carbono, otro importante hallazgo en la nano-investigación fueron los nanotubos de carbono por Sumio Iijima en 1991. Tales tubos se forman por capas de grafito enrolladas sobre sí mismas; pueden ser de una capa individual o de múltiples capas. Los nanotubos son considerados como un *material milagroso* debido a sus características y propiedades novedosas y sorprendentes. En la actualidad, son reconocidas como las fibras más resistentes, las que comparadas con el acero, son cien veces más fuertes y, a la vez, seis veces más ligeras. La elevada relación largo/ancho de los nanotubos, que no tiene precedente alguno,⁷ y su comportamiento electromagnético, permiten operar bien como semiconductor o como metal⁸ (Royal Society, 2004: 8-9).

Desafíos y alcances de la nanotecnología

La nanotecnología no implica una etapa más hacia la miniaturización sino una nueva escala cualitativa (Roco y Bainbridge, 2001). Para algunos expertos la nanotecnología implicará una revolución productiva del tipo inducido, comparada a las ocurridas en otras épocas en la industria textil, los ferrocarriles, la industria automotriz y la computación. Los promotores de la nanotecnología auguran entusiastamente que las nanotecnologías no sólo mejoraran el mundo industrial, sino que simplemente lo reemplazaran (Drexler, 1986). Otros, no sólo consideran que ésta sea una revolución tecnológica más, sino que ésta desencadenará una auténtica segunda revolución industrial, en la que tendrán lugar transformaciones productivas, económicas y sociales de gran envergadura que se difundirán de manera acelerada y dinámica. A la

⁵ Robert Curl, Harold Kroto y Richard Smalley obtuvieron en 1996 el premio Nóbel de física.

⁶ Llamadas así en honor a Buckminster Fuller, promotor del domo geodésico como estructura arquitectónica ideal. En idioma español se utiliza también el término "fullereno".

⁷ A fin de tener idea aproximada de tal relación podría ser útil imaginar un popote de un cm. de ancho y diez Km. de largo, de una sola pieza y que, además de ser flexible, no se deformara o rompiera por su peso.

⁸ Al enrollarse una capa de grafito en un nanotubo, además de alinearse los átomos de carbono alrededor de la circunferencia del tubo, se restringen las clases de función de onda que pueden tener los electrones, lo que a su vez afecta su movimiento y desempeño. Dependiendo de la forma en la que se enrollen las capas de grafito, el nanotubo puede ser un semiconductor o bien un metal.

nanotecnología se le pronostica ser el núcleo convergente de la ciencia, la economía y la sociedad del futuro (Bainbridge, 2007; Roco, 2007).

En este futuro que augura, la nanotecnología de *abajo a arriba* posee el potencial para incrementar las capacidades físicas superiores a las desarrolladas por la revolución industrial. Es decir, es previsible la expansión de las capacidades de aprendizaje y comunicación, superando lo logrado por la imprenta; acelerando las habilidades para viajar, rebasando lo logrado a través del barco y la rueda, así como, ampliando los lugares habitables, por encima de lo que la vestimenta usada permitió. La nanotecnología podría inducir cambios biológicos tan grandes en el organismo humano que la diferencia entre humanos y chimpancés sería mayor que las diferencia entre humanos y cangrejos. Todos estos cambios, constituirán la nueva revolución tecnológica y podrán ocurrir en la siguiente década, o durante el próximo cuarto de siglo, pero en el siglo XXI. (Hall: 2005, 26).

El nuevo mundo nano puede ejemplificarse a través de tres casos de investigación y desarrollo nanotecnológico. El primero refiere a la construcción de fábricas moleculares (*nanofabs*) con nanorobots (*nanobots*) en línea de ensamble y con capacidad para autoreplicarse⁹. El segundo, concierne a la fabricación de nanocomputadoras electrónicas ensambladas químicamente (Chemically Assembled Electronic Nanocomputers, CAEN) con capacidad para realizar simultáneamente billones de operaciones a costos energéticos ínfimos. El tercer caso es el relativo a nanoenfermeros y nanocirujanos capaces de detectar tempranamente enfermedades, suministrar medicamentos puntualmente *in situ* o reparar quirúrgicamente con fines ya sean preventivos o correctivos, células, tejidos, órganos, neuronas, de nuestros cuerpos. Algunos autores prevén que el progreso de estas investigaciones ocurrirá en las próximas dos décadas (Silberglitt et al 2006.).

Ámbito de aplicaciones

⁹ Respecto a la posibilidad de crear nanobots autoreplicantes ha existido una larga polémica protagonizada centralmente por Eric Drexler y Richard Smalley. Este último sostiene que los dedos del nanorobot no contarán con suficiente espacio para maniobrar (la teoría de “los dedos gordos”) además de que en caso de poder hacerlo tardarían años, décadas, en elaborar algo que rebasara la dimensión nanométrica (Smalley, 2001: 73). Para una crítica a las tesis de Drexler véase: Bainbridge, 2007.

En razón de la enorme interdisciplinariedad que está en proceso de establecerse en la investigación nanotecnológica, el ámbito de las aplicaciones tenderá a ser significativamente extenso. Por tanto, en casi todas las industrias manufactureras se tienen expectativas de aplicación, así como en la salud, el medio ambiente y la sustentabilidad.

Los nuevos desarrollos en la manufactura a la escala nano, refieren a la manufactura molecular, vinculada a los nuevos materiales producidos en el campos de la nanoquímica y nanotecnología (Abricht, et. al. 2004). De acuerdo a las previsiones que se auguran, el conjunto de los nuevos desarrollos en la manufactura conducirán a una disminución de energía, reducción de desperdicio de materiales, menor uso de sustancias contaminantes, un aumento del reciclamiento de materiales, menores niveles de mantenimiento, mayores niveles de automatización y mejoría en los beneficios del conjunto de las industria manufactureras. La nanoescala augura una mejoría notable de la eficiencia en la distancia de la escala, asociado a los avances de la nanociencia. Asimismo, se vincula en el área de la nanoingeniería, al desarrollo de herramientas, materiales con elevado desempeño, propiedades y funciones únicas, que rebasarán la producción de la química tradicional.

En efecto, en el campo de la química y en particular a la ciencia de los materiales, la nanoquímica y los nanomateriales implican un nuevo paradigma, al pasar de un modelo en que se adaptaban materiales etapa por etapa en función de la nueva demanda a otro modelo en que se la decisión de construir nuevos materiales se realiza átomo por átomo para obtener las características deseadas (Müller y Righi, 2002)¹⁰. Este nuevo paradigma tecnológico en el campo de materiales de nanoestructura y los procesos, afectara positivamente la demanda, por lo que se pronostica que su mercado se incrementará a 340 mil millones de dólares anuales en los próximos 10 años (Hitachi Research Institute, documento, 2001, citado en Roco y Bainbridge: 2001: 5 y National Science Foundation –NSF-, 2001). Según la NSF, se estima que el crecimiento mundial del mercado nano hacia el 2015 será de 1 trillón de dólares. La importancia que se prevé adquirirá el mercado nanotecnológico está vinculado al hecho de que el gasto en este mercado se ha incrementado de manera dinámica, esencialmente en Estados

¹⁰ G. Müller y M.L. Righi, “Nanochimie und Nanometaterialien. Venture Capital, *Magazine Nanotechnology*, 2002: 28-29 citado en Abicht et. Al. 2004 : 20.

Unidos, y enseguida en Japón, Francia y Reino Unido. En el caso de Europa, el gasto se duplicó en cuatro años, alcanzado mil millones de dólares en 2005 (Office of Science and Innovation, 2006: 3). En nanomateriales se prevé un crecimiento sustantivo de la demanda entre 2005 y 2010 de termoplásticos (se cuadruplicará), termoconjuntos (se triplicará) y elastómeros (se duplica) (Ibíd.).

En relación a las plantas químicas, las catálisis nanoestructuradas tienen aplicaciones en el petróleo y en industria procesadora química; su impacto anual se estima en 100 mil millones de dólares en 10 y 15 años (considerando una tasa histórica de incremento de 10% sobre 30 billones a partir de 1999) (NNI: The Initiative and its implementation plan: p. 84, ibíd)

En la electrónica, la nanotecnología será muy fértil para la industria de semiconductores y en circuitos integrados, con una derrama económica a 10 o 15 años de 300 mil millones de dólares anuales para cada área (Doering, 2001: 74).

La salud, a su vez, contará con mejoras sustanciales en la medida en que la nanotecnología contribuya a prolongar la vida, mejorar su calidad y ampliar las capacidades físicas humanas. Asociado a ésta, en la farmacéutica se pronostica que “cerca de la mitad del total de la producción dependerá de la nanotecnología afectando cerca de 180 mil millones de dólares anuales en 10 y 15 años (Cooper, 2000, citado en NSF, 2001).

En los transportes, los nanomateriales y los nanoelectrónicos serán cruciales para que los vehículos sean más ligeros, funcionen con mayor velocidad y sean más durables. Estos avances también se reflejarán en las carreteras, los puentes, las vías, los tubos y los sistemas de trenes. En el ámbito de productos aeroespaciales, la aplicación de la nanotecnología se traducirá en derramas económicas cercanas a 70 mil millones de dólares en 10 años (Hitachi Research Institute, documento, 2001, ibíd).

Con tales expectativas que inciden en una notable mejoría del desempeño del conjunto de las industrias manufactureras, se prevé que entre el año 2003 y 2020, en la industria del empaque la demanda aumentará 23 por ciento, en la construcción 32 por ciento, en eléctrica y electrónica el incremento será de 36 por ciento, en vehículos y

motores de 44 por ciento, bienes de consumo 45 por ciento y en otros 30 por ciento (Modern Plastics 81 (7): 32 citado en Office of Science Innovation, 2006: 3)

En referencia a la sustentabilidad, la nanotecnología aportará enormes beneficios a: la producción agrícola en función de las crecientes necesidades de la población, la administración del agua (problemas de filtraciones de agua y desalinadoras), renovación de fuentes de energía tales como energía solar. Estos avances permitirán superar la escasez de fuentes de materiales y contribuirán a disminuir la contaminación del medio ambiente. Se pronostica que en 10 y 15 años, la nanotecnología basada en los avances de aligeramiento tendrán el potencial para reducir el consumo mundial de energía en más de 10 por ciento, lo cual se traducirá en ahorros aproximados de 100 mil millones de dólares anuales y una correspondiente reducción de 200 millones de toneladas de emisiones de carbono (NNI: *The Initiative and Its Implementation Plan*: p. 93, *ibíd.*)

En el terreno de la ciencia y la ingeniería, se esperan nuevos avances en la comprensión de los sistemas biológicos, del medio ambiente y sistema planetario. Los nuevos enfoques derivarán de la investigación más genérica e interdisciplinaria, multiplicando las oportunidades para la innovación en tecnología. Esto a su vez, implicara el diseño de nuevas carreras profesionales, programas de especialización y de postgrado que integren la multidisciplinaria. Así, el desafío en el corto y mediano plazo es preparar nuevos campos de conocimiento y promover el desarrollo de nuevas habilidades tecnológicas (Abicht, et al, 2004).

Cuadro 1. Campos de la nanotecnología, sectores de aplicación e interdisciplinaria

<i>Campos de la nanotecnología</i>	<i>Sectores de aplicación</i>	<i>Otros campos con los que se cruzan</i>
Nanometrología/ Nanoanálisis	Tecnologías de la energía y del medio ambiente, tecnologías de la medición	Ofrece métodos analíticos a todos los campos de la nanotecnología. Aprovechona de información a la física, química, biología, ciencias de materiales e ingeniería a nivel de nanoescala
Nanobiotecnología /Nanomedicina;	Ciencias de la vida, tecnologías medicas, farmacéuticas, procedimientos cosméticos	Se apoya de sistemas biológicos, en particular de nanobiónica o nanobioestrategia. También en la simulación molecular, ciencias biológicas, particularmente en la biología molecular, genética, química coloidal, bioquímica, mecánica cuántica y las TICS. La nanobiotecnología y la nanomedicina actúan estrechamente
Nanomateriales /Nano química/	Industria química, industria textil, industria alimentaria, bienes durables del hogar y equipos deportivos	El campo de nanomateriales esta muy vinculado al de nanoquímica y en particular se apoya en el análisis de sistemas funcionales supramoleculares
Nanoelectrónica/	Tecnologías de la información y comunicación	Se apoya en la microelectrónica y en la física, particularmente en la litografía óptica
Nanoóptica	Industria automotriz	Se apoya en la óptica y particularmente en la

		óptica medica, la tecnología láser, optoelectrónica y componentes de las TICS
--	--	---

Fuente: Abrecht et. Al, 2004: 17-20

A continuación se enlistan doce sectores de actividad económica en los que se aplican, o aplicarán durante la presente década, productos nanotecnológicos (Meridian Institute, 2005: 3).

Cuadro 2. Sectores industriales y productos vinculados a la nanotecnología

Área	Productos
Automotriz	Materiales ligeros, pintura anti-rayado, catalizadores, llantas, sensores, recubiertas para ...
Química	Componentes, adhesivos, fluidos magnéticos, materiales compuestos, plásticos, hules.
Metal mecánica	Protectores y lubricantes de maquinaria, herramientas, equipo industrial y agrícola en general.
Electrónica	Pantallas, memorias, diodos láser, fibra óptica, contactos ópticos, filtros, recubiertas conductoras, antiestáticas
Construcción	Nuevos materiales, aislantes, impermeabilizantes, barnices antifuego, para el tratamiento de madera, pisos, recubrimientos, etc.
Medicina	Sistemas de administración de medicamentos, adhesivos dentales, medios de contraste, sistemas de exámenes y diagnósticos <i>in situ</i> , prótesis, implantes, agentes anti-microbianos.
Textiles	Recubrimientos de telas, ropa inteligente.
Energía	Celdas solares, baterías, pilas.
Cosméticos	Protectores solares, lápices labiales, cremas, pastas de dientes, maquillaje.
Alimentos y bebidas	Empaques, sensores, aditivos, clarifiers
Domésticos	Diversos productos de limpieza y conservación de vidrio, madera, cerámica, metales
Deportes	Lentes, goggles, raquetas, palos de golf

Asimismo, los nanoproductos comienzan a estar presentes en la industria aeroespacial, naviera, petrolera, portuaria, del agua, del vidrio, de los fertilizantes. Según un estudio de la *Iniciativa Nacional de Nanotecnología* de los Estados Unidos de América (NNI), la trayectoria evolutiva de los prototipos industriales y de la comercialización nanotecnológicas durante el lapso 2000-2020, considera cuatro fases (Roco, 2007: 28-30).

La primera generación de productos nanotecnológicos (cuya presencia en los mercados data de principios del 2000) incluye nanoestructuras pasivas utilizadas para configurar propiedades y funciones a escala normal y cuyo comportamiento específico no varía en el tiempo. Estas se utilizan como elementos de dispersión y contacto presentes en aerosoles, recubrimientos, compuestos reforzados, etcétera.

La segunda generación de productos (cuya incorporación a los mercados ocurre desde 2005) refiere a las nanoestructuras activas con fines electrónicos, magnéticos, biológicos integradas a sistemas y dispositivos micro. Existen dos tipos de nanoestructuras: biológicas (incorporadas en medicamentos y en biodispositivos, músculos artificiales y estructuras adaptativas) y fisico-químicas (operan en transistores y amplificadores).

La tercera generación de productos (se prevé el acceso a los mercados en 2010) se conforma por sistemas de nanosistemas tridimensionales utilizados en bio-ensamblaje, robótica, sistemas de ingeniería supramolecular, tejidos artificiales, uso de fotoelectrones para procesar información, ensamblado de nanosistemas mecánico-eléctricos (NEMS) y plataformas donde convergen nanotecnología-biotecnología-informática-ciencias cognitivas (llamada convergencia nano-bio-info-cogno).

Finalmente, la cuarta generación de productos (está prevista su industrialización y comercialización a partir de 2015) se formará por nanosistemas moleculares heterogéneos diseñados que permitirán fabricar máquinas y herramientas a escala nano, interfaces hombre-máquina a nivel de tejidos y sistema nervioso, así como nanoestructuras biológicas con fines médicos y dirigidas a la agricultura.

Incertidumbres y riesgos

No obstante que toda novedad puede augurar beneficios para la sociedad y en consecuencia, derramas de conocimiento y económicas, también éstas se acompañan de incertidumbres y probables riesgos. Los seres humanos, a la vez que buscan permanentemente nuevas ideas que influyan para transformar las condiciones de vida, acompañan su búsqueda de continuas dudas y miedos. Canetti (1977) afirma “nada teme más el hombre que ser tocado por lo desconocido”.¹¹ En ésta lógica, la nanotecnología no escapa a la incertidumbre, al temor a los probables riesgos de efectos colaterales asociados a su uso y desarrollo imprevisible. La manipulación de la materia a escala nano, en la que operan leyes del universo cuántico, aún parcialmente conocidas, conllevan a un grado de incertidumbre en aspectos relativos a la salud y la naturaleza. En la medida en que la I&D y las patentes en el área de nanotecnología han progresado,

¹¹ Elías Canetti, *Masa y Poder*, Muchnik Editores, Barcelona, 1977: 9.

mayor es el número de productos que ingresan al mercado (más de 700 productos, ETC Group, 2005: 25), sin que medien ni estudios sobre el impacto para la salud humana y el medio ambiente, ni tampoco normas de regulación. Retomando esta preocupación, algunos estudios en los Estados Unidos y Europa se han orientado al estudio y la prevención de los posibles efectos que las nano-partículas pueden tener en el conjunto de los seres vivos (plantas, animales, seres humanos) y en el entorno ambiental en general. Lo anterior, especialmente, si se consideran los estudios toxicológicos sobre la capacidad de las nano-partículas para traspasar tejidos, adentrarse en organismos y alojarse en células de todo tipo¹²; así también los estudios sobre el impacto el sector de alimentos y agricultura.¹³

Pese a que estos estudios aún no son concluyentes, plantean la necesidad de establecer políticas y medidas que estudien y regulen el uso de nano-partículas y nano-componentes a fin de garantizar la protección de la población y del medio ambiente (Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004; U.S. Senate, 2006). La preocupación por difundir las investigaciones especializadas sobre la evaluación de los impactos ambientales, en la salud, así como las implicaciones económicas, sociales y éticas del uso de productos, dispositivos y todo tipo de partículas de dimensiones nano, se expresa en estudios recientes (Meridian Institute, 2005: 8-9). Así también, otros autores proponen se limite la investigación y la aplicación nanotecnológica hasta contar con un mayor conocimiento sobre las repercusiones ambientales, éticas y sociales y, en ese sentido, diseñar una regulación internacional (ETC, 2003: 73-75).

En el ámbito militar, los riesgos del uso de la nanotecnología son previsibles. Al igual que en otros paradigmas tecnológicos, los gobiernos de los países industrializados destinan sustantivas partidas al renglón militar para las investigaciones nanocientíficas y nanotecnológicas. Entre los proyectos de investigación y desarrollo más significativas están: el diseño de *uniformes inteligentes* reactivos a variaciones de luz, humedad y temperatura en el campo de operaciones de los soldados; el desarrollo de armamento autoejecutable, tal como nanopartículas destructoras o venenosas, nanoespías, o bien

¹² Según el estudio del ETC Group (2005: 42) “Reducidas a la nanoescala, las partículas disponen de un perímetro mayor que puede aumentar su reactividad desde un punto de vista químico...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, daños en los tejidos y crecimiento de tumores”.

¹³ Para el análisis de los efectos en el sector de alimentos y de agricultura véase: ETC Group: *Down on the Farm: The impact of Nano-scale Technologies on Food and Agriculture*, noviembre 2004, <http://www.etcgroup.org>.

nanodispositivos diseñados para actuar genéticamente contra ejércitos o contra grupos étnicos, comunidades religiosas, etcétera (Foladori e Invernizzi: 2006, 331; Huw, 2007 ; Delgado, 2008).¹⁴

Aunque las potencialidades y los riesgos forman parte del campo de lo incierto, es muy probable, que las nanotecnologías influirán decisivamente en la elaboración de nuevas ideas y concepciones más acabadas sobre la naturaleza de la materia y, en esa medida, afectarán la capacidad transformadora del ser humano de su mundo material. Estos cambios, a su vez, tendrán repercusiones filosóficas, en el sentido que lo postula la filosofía del *transhumanismo*, en la que las nuevas tecnologías hacen trascender los límites de la condición humana. En ese sentido, los individuos desarrollarán habilidades para transformarse en mente y en cuerpo (Dupuy, 2004: 15-16; Young, 2006).

Por tanto, los cambios asociados a la revolución nanotecnológica se manifestarán durante las próximas décadas en las condiciones de vida de las personas, las sociedades y, en suma, en la civilización. Se impactarán las condiciones materiales de existencia de los individuos (trabajo, vestimenta, construcción, energía, salud, medio ambiente, transporte). Así también se vislumbran efectos en sus paradigmas, nociones e imaginarios culturales y espirituales (científicos, psíquicos, éticos, artísticos, religiosos, filosóficos).

3. La dinámica y especialización de la actividad inventiva de los países. La investigación y desarrollo y las patentes

En esta sección nos proponemos mostrar el progreso de la nanotecnología a partir de la evolución de las patentes, asociada al gasto erogado en I&D. Previamente expondremos algunos de los aspectos polémicos del patentamiento en la nanotecnología. A través de estos indicadores analizaremos la dinámica de innovación y especialización nanotecnológica de los diferentes países.

¹⁴ En Estados Unidos el Departamento de Defensa ejerce, después de la Fundación Nacional para la Ciencia, la mayor cantidad de fondos desde el inicio de la NNI. Entre 2000-2007, el Departamento de Defensa realizó un gasto de mil 925 millones de dólares (MD); a su vez, el Departamento de Energía gastó 1 303 MD, el Departamento de Agricultura 155 MD y la Agencia de Protección Ambiental únicamente 42 MD (Roco, 2007: 17). De continuar con tal dinámica de gasto y hacerse extensiva a otros países, hay autores que han advertido el riesgo de que en los próximos lustros se desate entre las principales potencias una *nanocarrera* armamentista (Foladori e Invernizzi: 2006, 332).

El patentamiento nanotecnológico: un debate abierto

La propiedad intelectual y, en particular las patentes, así como la transferencia tecnológica en el área de nanotecnología, han adquirido una especial relevancia, asociada a un interesante debate, que puede, incluso, rebasar al establecido en el área de biotecnología. “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 lo incorporan.” (ETC Group, 2005: 16). Considerando el amplio ámbito de aplicación tecnológica e industrial que puede tener una innovación de nanoescala (sea un material, dispositivo o proceso), una patente puede implicar para el titular de ésta, una enorme fuente de ingresos debido a que la protección monopólica se puede extender a múltiples ámbitos de aplicación de la novedad nanotecnológica. En ese sentido “...las patentes tendrán una gran influencia sobre la tecnología, mayor que sobre ninguna otra ciencia moderna en una fase comparable de desarrollo” (Lemley, 2005).¹⁵ Vinculado a esto, existe una preocupación de quien accederá a las nanotecnologías y a qué precio, especialmente, si se aprecia que el mercado de la nanotecnología se estima en un billón de dólares (ibíd).

Los *Acuerdos de los Derechos de la Propiedad Intelectual para el Comercio* (ADPIC) establecen que todos los países miembros de la *Organización Mundial del Comercio* (OMC) están obligados a patentar en absolutamente todos los campos de la tecnología respetando los criterios de novedad, actividad inventiva y aplicabilidad industrial. En algunas áreas tecnológicas e industriales, se ha abierto un intenso debate en relación a los efectos de la explotación monopólica de los productos en el bienestar social, como es el caso de los antirretrovirales y otros tipo de medicamentos indicados para terapias de enfermedades que afectan severamente a los países pobres en la industria farmacéutica. El debate en el área nanotecnológica es muy semejante al sostenido en la biotecnología sobre las invenciones vinculadas a la materia viva sujetas a patentamiento, referidas en el artículo 27 inciso b de los ADPIC. Al respecto tal artículo afirma que “las plantas y los animales, así como los procedimientos biológicos, pueden ser excluidos de la patentabilidad. Sin embargo, los países de la OMC deben ofrecer protección para las variedades vegetales, ya sea por medio de patentes o de un

¹⁵ Mark A. Lemley (2005), “Patenting Nanotechnology” manuscrito citado por Grupo ETC, 2005.

sistema eficaz *sui-géneris*.” Pese a la aguda crítica proveniente especialmente de países en desarrollo y, no obstante, que los países con menor desarrollo contaron con mayor tiempo para adoptar el acuerdo con todos y cada uno de los artículos, el artículo 27 aún permanece intacto.

Así, en el marco de esta discusión, se cuestiona si deben otorgarse patentes de nanobiotecnología en aquellas novedades que incluyan seres vivientes, así como procesos propios de la naturaleza. Otras interrogantes se extienden a la preocupación sobre las repercusiones que tendrán para los países pobres las políticas de patentamiento en éstas áreas, especialmente si se consideran los enormes diferenciales tecnológicos y económicos que tienen éstos frente a países industrializados. Así, en este sentido se plantea: “¿obliga el acuerdo sobre los ADPIC a todos los países en desarrollo a reconocer y exigir el cumplimiento de las patentes de invenciones nanotecnológicas, incluso aquellas que incorporan plantas y animales, así como procedimientos biológicos esenciales? (ETC Grupo, 2005).

Fuentes de datos

En esta investigación analizamos las patentes solicitadas y concedidas en el área de nanotecnología, en la Oficina de Marcas y Patentes de Estados Unidos (USPTO por sus siglas en inglés –*United States Patent and Trademark Office*) de 1980 a julio de 2008.

La búsqueda de las patentes de residentes y no residentes se realizó en la clase 977 que ha sido asignada para clasificar las novedades de la nanotecnología. Según la USPTO, la base de datos patentes que se difunde en esta clase corresponde a:

“

- i) Nanoestructura y composiciones químicas de nanoestructura
- ii) Componentes informáticos (hardware) que incluye al menos una nanoestructura
- iii) Algoritmos matemáticos; por ejemp. Programas (software) de computación, específicamente adaptados para modelar configuraciones o propiedades de nanoestructura
- iv) Métodos o aparatos para hacer , detectar, analizar o tratar nanoestructuras y
- v) Usos particulares específicos de nanoestructura”

Tal como lo mencionamos anteriormente, la nanoestructura es una estructura atómica, molecular o macromolecular que: a) al menos tiene una dimensión física de aproximadamente de 1 a 100 nanómetros y b) posee una propiedad especial, provee una especial función o produce un efecto especial el que es solamente atribuible a la estructuras (s) al tamaño físico de nanoescala.

Sin embargo, las patentes de la clase 977 no cubren todas aquellas novedades que puedan tener alguna referencia a una dimensión de nanoescala. En ese sentido, conviene precisar que la clase 977 no cubre estructuras químicas o biológicas, per se, debido a que un compuesto, elemento o composición de materia con una dimensión de nanoescala no es condición suficiente para ser ubicado en la clase 977, sino serán clasificadas en otras clases específicas. Las patentes serán clasificadas en la 977 si al menos poseen particulares configuraciones formadas durante la manufactura con propiedades especiales o funciones del ensamblaje nanoestructural, referido a la alteración de propiedades básicas o químicas atribuidas a la nanoescala. Las propiedades especiales y funcionalidades deberán ser interpretadas ampliamente y se caracterizan por ser resultado de dimensiones de nanoescala. Un ejemplo de la exclusión o inclusión de una patente en la clase 977 es el siguiente. Un conductor a la magnitud de nanoescala que exhibe iguales propiedades eléctricas al tiempo que el mismo conductor tiene sustancialmente una mayor amplitud (y no tiene otras propiedades especiales) podría ser no clasificado en la clase 977. En cambio, un conductor convencional que exhibe confinamiento quantum o superconductividad sólo cuando está formado como para tener una longitud de nanoescala podría ser incluido en la clase 977. Otro ejemplo es el relativo a los catalizadores tamaño nano y partículas sólidas sorbentes o catálisis y sólidos sorbentes que tengan poros de tamaño nano son clasificados en la 977 sólo si muestran una propiedad única como resultado de la dimensión nanoescala (USPTO, 2007). Como estos ejemplos, existe una amplia gama de casos, en la cual los expertos dictaminadores de las oficinas de propiedad intelectual juegan un papel central.

En el marco de esta discusión, la definición de las patentes en el área nanotecnológica adquiere una especial complejidad. Asimismo, algunos artículos difieren en la información del número de patentes en ésta área. Si la búsqueda de

patentes nanotecnológicas se realiza formando un *query* utilizando la palabra nano, el número de patentes será significativamente mayor (véase Huang, et al. 2003).

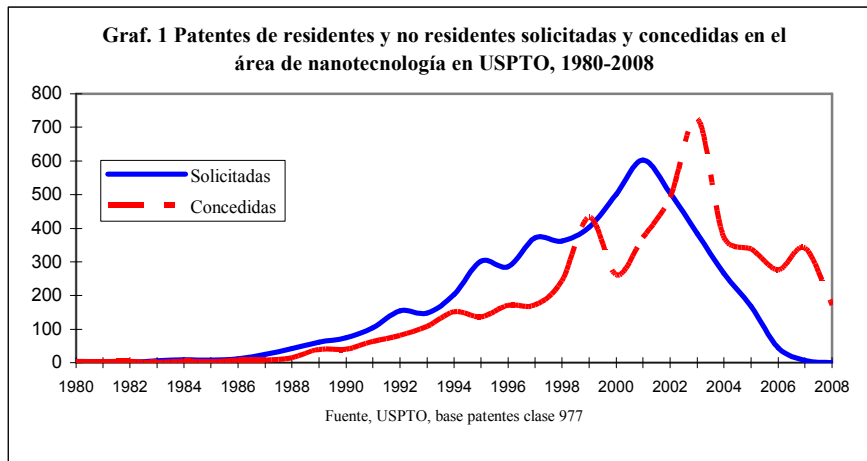
Además de realizar la búsqueda de patentes nanotecnológicas en la clase 977, es posible complementar tal búsqueda asociando la clase 977 a otras clases particulares, como en el caso de patentes nanotecnológicas asociadas a la biotecnología: CCL/977/800. Esta clasificación también corresponde a la realizada por Jaffe y Trajtenberg (2002). De esta manera se obtienen patentes por especialización tecnológica, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Clases de patentes de USPTO por sectores tecnológicos

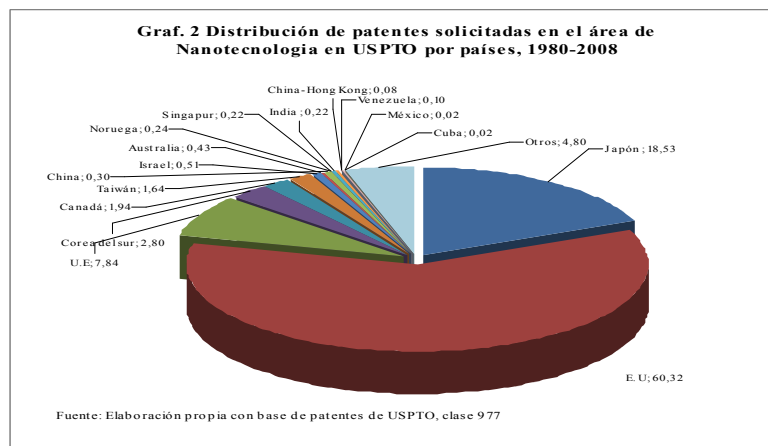
Sectores tecnológicos	Clases Vinculadas
Eléctrica y electrónica	73, 250, 257, 310, 313, 324, 372, 374
Mecánica	75, 148, 420,
Química	117, 118, 501, 502, 506, 516, 900-963
Medicamentos y Medicina	351, 514, 600, 601, 604, 606, 607, 623
Computación y comunicaciones	385
Biotecnología	800-899
Nanoestructura	700-799
Otros	428

Fuente: USPTO y Jaffe y Trajtenber, 2002.

De acuerdo a nuestra propia búsqueda de patentes en la USPTO, podemos advertir que desde mediados de los años ochenta empieza a incrementarse el número solicitudes y concesiones de patentes, aunque el crecimiento significativo ocurre desde mediados de los años noventa. Entre 1980 a julio de 2008 fueron solicitadas y concedidas poco más 5 mil patentes. Esta cifra contrasta con los resultados reportados por Huang, et. al, 2003. Estos autores contabilizan entre 1976 y 2002, un total de 77 605 patentes. El enorme diferencial muy probablemente se explique por el método de búsqueda de patentes, a través de la búsqueda de todas aquellas patentes en las que haga referencia a las palabras nanociencia o nanotecnología en el texto completo de la patente o en la reivindicación (*claim*) de la innovación, aunque no necesariamente se atiendan a la clasificación 977, como se explicó anteriormente. Estos autores también utilizan una serie de palabras claves de los campos ligados a las nanotecnologías (vease Huang, et. Al. 2006).

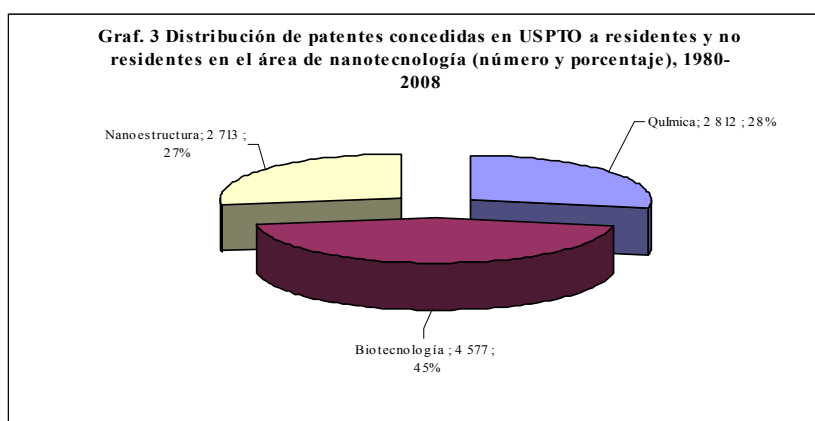


Aunque algunos autores no están de acuerdo que se incluya al país residente en la comparación con otros países, porque se sesgan los datos hacia el país residente; en el caso de la nanotecnología es inevitable considerar a Estados Unidos, debido a que éste país posee el liderazgo en la I&D, tanto en instituciones de investigación como empresas y por tanto, en el desarrollo de novedades tecnológicas en diferentes ámbitos. De acuerdo a la información obtenida del USPTO, tres quintas partes corresponden a Estados Unidos (patentes de residentes), y casi una quinta parte a Japón (18.6%). La participación del conjunto de los países europeos es menor (7.8%). De los países de reciente industrialización, sobresale Corea del Sur (2.8%). En contraste Huang et al (2003), afirma que cuatro quintas partes de las patentes fueron concedidas a Estados Unidos y Japón sólo alcanza una décima parte. Huang (2003) realiza un análisis de las patentes identificando el número de investigadores involucrados en las novedades patentadas y las instituciones o empresas titulares de las patentes.



El diferencial del número de patentes se puede apreciar en el gráfico 3. Estados Unidos (3054 patentes) cuenta con una enorme ventaja frente a los otros países industrializados, como Japón (938 patentes), de la Unión Europea (397) y Corea del Sur. De los países de la Unión Europea destacan Alemania (176 patentes) y Francia (95 patentes). Con un nivel similar a Francia se encuentra Canadá (98 patentes). A su vez, de los países asiáticos sobresalen después de Japón, Corea del Sur (142 patentes) y Taiwán (83 patentes), refrendando su esfuerzo en I&D y la innovación hacia las nuevas tecnologías.¹⁶ Entre los países emergentes se aprecia el esfuerzo en la obtención de patentes de China, Singapur e India, pese a que su número aun sea marginal.

En relación a la búsqueda de patentes solicitadas y concedidas a residentes (Estados Unidos) y no residentes (países extranjeros) por la USPTO en la clase 977 en tres campos: química, nanoestructura y biotecnología entre 1980 y 2008, identificamos que 45 por ciento de las patentes corresponden a las clases agrupadas en biotecnología; el resto de las patentes se dividen entre nanoestructura y química (28 y 27 por ciento respectivamente, véase gráfica 3). Si consideramos la enorme interdisciplinariedad que existe en el campo de las nanotecnologías, muy probablemente muchas de estas patentes puedan corresponder a varios campos a la vez. La biotecnología es de hecho uno de los campos en que la interdisciplinariedad ocurre y, por tanto, las invenciones tienen un impacto para muchos campos científicos y de aplicación a la vez.

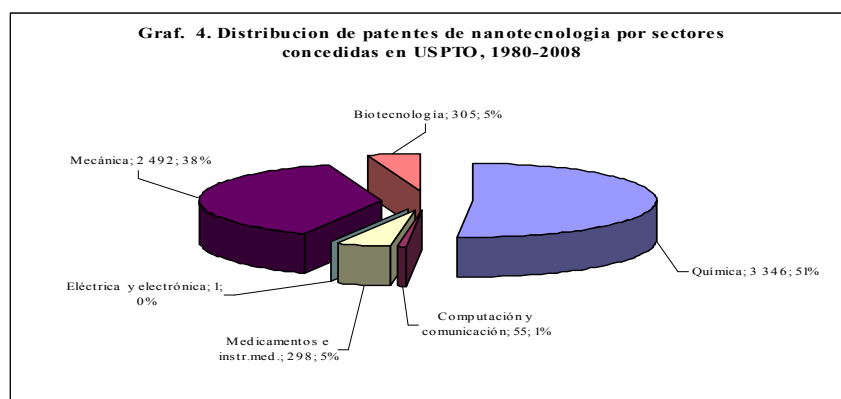


Fuente: Elaboración propia con base en USPTO clases Química: 977/900-93; Biotecnología: 977/800-890; Nanoestructura: 977/700-799.

Si la búsqueda de patentes de nanotecnología se realiza con base en la clasificación de Jaffe y Trajtenberg (2002), es decir por sectores tecnológicos, los

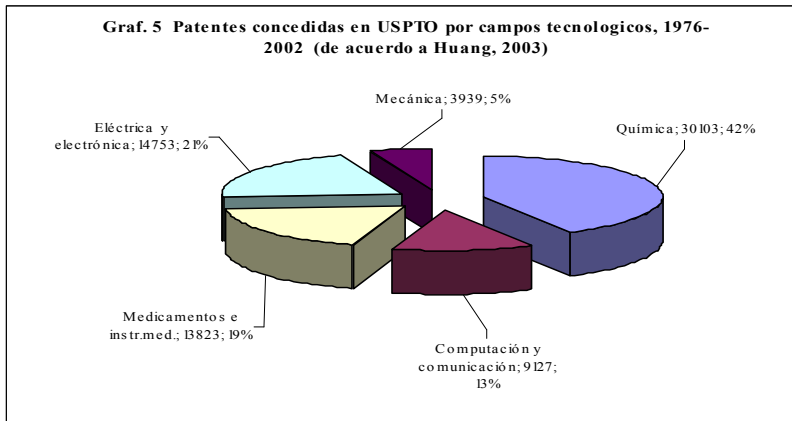
¹⁶ Después de su notable desempeño en la industria electrónica, Corea y Taiwán han incursionado en la biotecnología y más recientemente lo hacen en la nanotecnología, con resultados relativamente comparables a Alemania y Francia.

resultados cambian (véase gráfica 4). Poco más de la mitad de las patentes corresponden al sector químico. El segundo campo en importancia es el de *mecánica*, en el que se concentra 38 por ciento de patentes de nanotecnología. Biotecnología y Medicamentos e instrumentos médicos participan con un porcentaje sustancialmente menor (5 por ciento cada uno). Los campos totalmente marginales son: eléctrica y electrónica y computación y comunicación. Muy probablemente en el sector químico se incluyen algunos subcampos de la biotecnología y en el caso de los campos eléctrico/electrónica se asocian sea al sector químico o al de biotecnología.



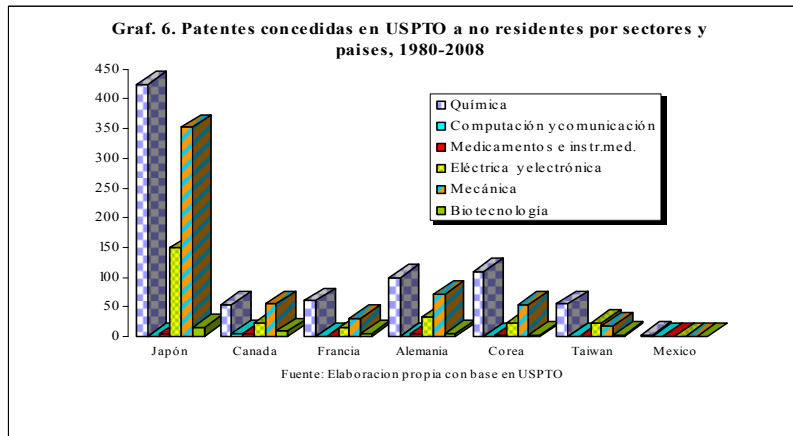
Fuente: Elaboración propia con base en USPTO y la clasificación de Jaffe y Trajtenberg (2002).

Con base en Huang (2003), agrupamos todas las clases en las que autor identificó patentes de 1976 a 2002 (71, 745 patentes), considerando la clasificación de Jaffe y Trajtenberg (2002). De acuerdo a este autor el sector químico concentra 42 por ciento de las patentes y en ella se incluye a la biología molecular y la microbiología, que en conjunto representan 11.1% del total de las patentes (véase gráfica 5). En contraste a los resultados de nuestra búsqueda, el sector mecánico solo reporta 5 por ciento, pero en cambio, el sector eléctrico y electrónico reporta poco mas de una quinta parte en electrónica y medicamentos e instrumentos de la salud casi una quinta parte y en computación y comunicación se encuentra 13 por ciento de las patentes. Los resultados de Huang (2003) contrastan con un estudio más reciente del Instituto de Nanotecnología del Reino Unido (Singh, 2007) que indica que en los últimos años la mayor actividad de patentamiento se ubica en los sectores de la electrónica, la energía y los productos para la salud y el cuidado personal.

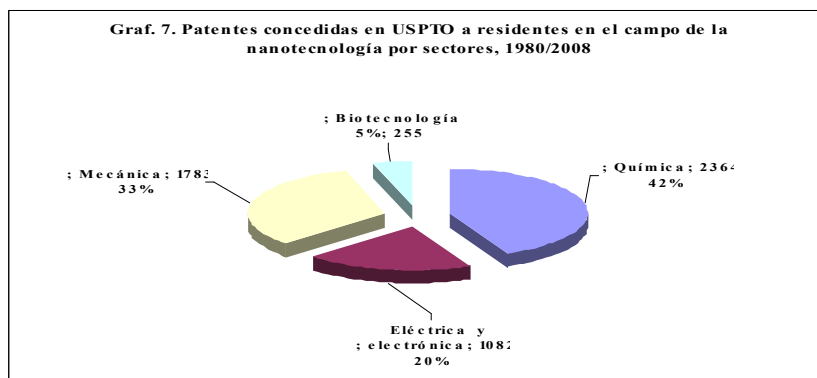


Fuente: Elaboración propia con base en Huang 2003, cuadro 10 y la clasificación de Jaffe y Trajtenberg (2002).

Si consideramos los campos tecnológicos en que se clasifican las patentes por países, podemos advertir que los esfuerzos de la innovación pueden en algunos casos coincidir en áreas similares, pero que también se manifiestan tendencias de especialización en función de las políticas de I&D, la formación profesional, las fortalezas científicas y tecnológicas que cada país posee y en general el tipo de sistemas nacionales y sectoriales de innovación. En la gráfica 6 se muestran algunos de los países no residentes que mayor número de patentes han obtenido en USPTO por campos tecnológicos. Aunque México tiene una participación marginal en las patentes concedidas, lo hemos incluido con fines comparativos únicamente. Entre estos países destaca Japón, especialmente en tres campos: química, eléctrica y electrónica y mecánica, con una importante ventaja frente a los otros países considerados. De la Unión Europea, Alemania también ha orientado su esfuerzo en esos campos y Francia en un menor nivel. En Asia, sorprende el desempeño de la invención de Corea y Taiwán. En el caso de México solo se identificaron 24 patentes, 2 de estas en el área química, una en eléctrica y electrónica y otra mas en mecánica Es importante señalar que debido a la agregación que se ha hecho de las patentes no es posible diferenciar las invenciones mas específicas.



En el caso de Estados Unidos la especialización por campos nano tecnológicos es más diversificada. Más de dos quintas partes de las patentes se concentran en el área química, un tercio en mecánica, una quinta parte en eléctrica y electrónica y solo 5 por ciento en biotecnología. Muy probablemente el área de biotecnología es más reducida porque varias de las patentes pueden estar ubicadas en el área química.



En el campo de la nanoelectrónica, la mayoría de las patentes corresponde a Japón, Estados Unidos y Europa. Esencialmente son las firmas las que más patentan. La empresa líder es la americana IBM Corporation; adicionalmente, otras firmas de Estados Unidos que mayor número de patentes poseen es Intel Corporation, General Electric y Hewlett-Packard Development Company, L.P.; de las empresas japonesas destacan Canon Kabushiki Kaisha, Hitachi, Ltd, Kabushiki Kaisha Toshiba y la alemana Eastman Kodak Company (Huang, 2006, véase cuadro 4). Otras empresas que acumulan importante número de patentes son Motorola, Packard Fujitsu y Samsung, Agencia Japonesa de Ciencia y Tecnología, y Philips. En el sector de la salud y el cuidado personal destacan los países de la Comunidad Europea, Estados Unidos, China

y Rusia. Las empresas destacadas son L’Oréal, Elan Corp., Boston Scientific, Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) y Phillips.

Entre los agentes titulares con mayor número de patentes destacan algunas universidades e instituciones de investigación como The Regents of the University of California y Massachussets Institute of Technology –MIT-. De acuerdo a Singh (2007), las universidades e instituciones públicas han adquirido en los últimos años un creciente peso en las invenciones e innovaciones. El estudio estima que las universidades poseen el 70 por ciento de las patentes nanotecnológicas clave. Previo a 1980 las universidades obtenían en promedio 250 patentes en todos los campos por año a nivel mundial, pero en 2003 esa cifra se elevó a 3 993 patentes.

Cuadro 4. Veinte firmas e instituciones con mayor número de nano patentes, 2001-2004

<i>Rango</i>	<i>Titular de la patente de USPTO</i>	<i>Número de patentes</i>
1	Internacional Business Machines Corporation	730
2	Micron Technology, Inc.	620
3	Advanced Micro Devices, Inc.	519
4	The Regents of the University of California	461
5	Minnesota Mining and Manufacturing Company	396
6	Xerox Corporation	356
7	Intel Corporation	268
8	General Electric Company	239
9	NEC Corporation	234
10	Motorola, Inc.	227
11	Eastman Kodak Company	219
12	Canon Kabushiki Kaisha	181
13	Corning Incorporated	165
14	Applied Materials, Inc	162
15	Hewlett-Packard Company.	162
16	Hitachi, Ltd	154
17	Massachussets Institute of Technology	144
18	Silverbrook Research PTY LTD	143
19	Kabushiki Kaisha Toshiba	142
20	Fuji Photo Film Co., Ltd	141

Fuente: Huang, et. al., 2006: 4.

El esfuerzo tecnologico. La Investigación y desarrollo

Cuando se trata de la investigación científica y tecnológica, los gobiernos tienen un papel clave en el financiamiento y en el fomento de políticas de incentivos que alienten a los demás agentes de la economía a involucrarse en la investigación y, eventualmente

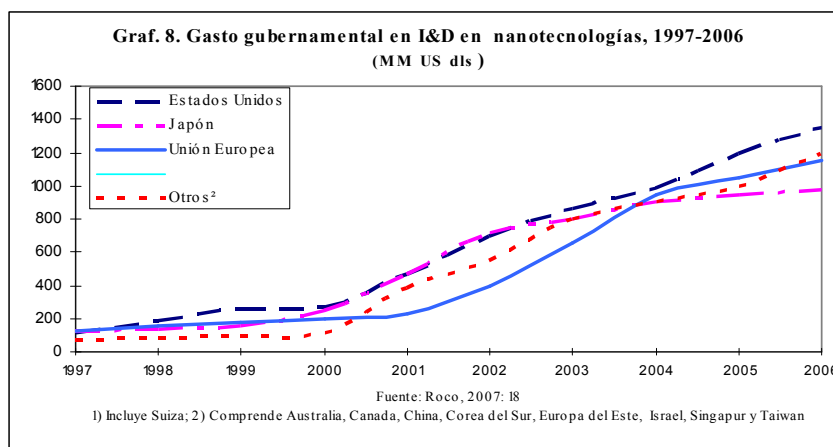
en el desarrollo de nuevos procesos y nuevos productos. Por la gran relevancia del nuevo paradigma nanotecnológico, la interdisciplinariedad en la I&D entre los diferentes ámbitos científicos y productivos, el impacto en términos del crecimiento económico, el bienestar social y el modo de vida de los seres humanos, así como también, los riesgos potenciales de los nuevos hallazgos, los gobiernos de diversos países destinan un gasto sustancial a la investigación y desarrollo (I&D) de las nanotecnologías. El esfuerzo de los gobiernos, en función de sus sistemas nacionales de innovación particulares, se dirige a promover la integración de equipos de investigación, el vínculo entre universidades y empresas, el establecimiento de redes de investigadores nacionales y algunos casos internacionales, el fortalecimiento de los laboratorios de investigación con la finalidad de obtener nuevos hallazgos científicos y tecnológicos. El desempeño de la I&D se va a manifestar en la capacidad que tengan los diferentes agentes en los países para inventar y que estas invenciones obtengan las patentes en las diferentes oficinas de propiedad intelectual en las que se solicite.¹⁷

Desde finales de los años noventa, los gobiernos de los países industrializados iniciaron un financiamiento progresivo en I&D para el desarrollo de las nanociencias y las nanotecnologías, con una ventaja por parte de Estados Unidos. En este país, el gobierno lanzó en el año 2000, la *Nanotechnology National Initiative* (NNI). Otros países pusieron en marcha iniciativas semejantes: Japón (abril 2001), Corea del Sur (julio 2001), Comunidad Europea (marzo 2002), Alemania (mayo 2002), China (agosto 2002), Taiwán (septiembre 2002). En la actualidad más de treinta de países cuentan con programas o estrategias de desarrollo nanotecnológicas respaldadas con cuantiosas aportaciones públicas.

Actualmente, el liderazgo en financiamiento público en el campo de la nanotecnología corresponde a Estados Unidos. Japón, por su parte, registró un crecimiento similar al de Estados Unidos de 2000 a 2002, sin embargo en los años posteriores se advierte un menor dinamismo en crecimiento del gasto en I&D. El conjunto de los países de la Unión Europea incrementó de manera importante su gasto a partir de 2001, logrando un nivel convergente con Estados Unidos en 2004. El agregado del gasto en I&D de otros países, tiene relevancia, especialmente si se considera el

¹⁷ *United States Patent and Trademark Office* (USPTO) de Estados Unidos; *European Patent Office* (EPO), *World Patent Office* (WIPO) cuando la patente quiere someterse a varias oficinas de patentes en varios países del mundo.

importante esfuerzo de países como Corea, Taiwán, China y desde luego Canadá (véase grafica 8).



De acuerdo a datos de 2005, otros países involucrados en investigación nanotecnológica, además de los ya mencionados son: Argentina, Armenia, Brasil, Botswana, Chile, Colombia, Croacia, Costa Rica, Cuba, Egipto, Georgia, India, Indonesia, Irán, Jordania, Kazajastán, Malasia, México¹⁸, Moldavia, Filipinas, Pakistán, Servia y Montenegro, Sudáfrica, Tailandia, Turquía, Uruguay, Uzbekistán, Venezuela y Vietnam (Meridian Institute, 2007:8-9).

No obstante que las cifras de gasto en I&D en la nanotecnología no permiten apreciar en detalle a que aspectos específicos se está destinado tal financiamiento, el Informe del *Meridian Institute*, 2004 (citado en Abicht et al p. 23) permite identificar hacia que ámbitos se está concentrando el esfuerzo de los gobiernos para fomentar las nanotecnologías. De acuerdo a esta información sólo Estados Unidos cubre todas las áreas: i) materiales/manufacturas; ii) dispositivos que incluyen dispositivos electrónicos y ópticos; iii) biotecnología/medicina; iv) instrumentos de desarrollo y v) educación. En el caso de la Unión Europea, sólo en conjunto se cubren todos los campos. Así, podemos apreciar que el gobierno francés enfoca sus esfuerzos al sector de materiales y a sus manufacturas y asimismo al campo de la biotecnología/medicina. En Alemania, Italia, Países Bajos y Suiza, los gobiernos, además de estos sectores, también promueven los campos de electrónica/óptica e instrumentos de desarrollo. En Alemania destaca la participación de 450 firmas orientadas al campo de las nanotecnologías.

¹⁸ Para un panorama de la nanotecnología en México (CIMAV, et. al, 2008; Delgado (2008, 234-38)

Además de los Estados Unidos destaca el esfuerzo de los gobiernos en el terreno de la educación de la nanotecnologías. En efecto, Estados Unidos se ha preocupado por establecer varios programas sobre nanotecnologías para posgraduados en el campo de la investigación de materiales, en la enseñanza de la experiencia de la investigación en ciencias, en la ciencia de la nanoescala y educación de ingeniería.

Cuadro 5. Campos de la nano tecnología promovidos por el sector gubernamental, por países

País	Materiales/ Manufacturas	Dispositivos (electrónicos y ópticos)	Energía y medio ambiente	Biología/Medicina	Instrumentos de desarrollo	Educación
Argentina	✓					
Australia	✓	✓	✓	✓		
Bélgica	✓	✓		✓		
Brasil	✓	✓		✓		
Republica Checa	✓	✓		✓		
EU-25	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Francia	✓			✓		
Alemania	✓	✓		✓	✓	
India	✓	✓		✓	✓	✓
Irlanda	✓	✓	✓	✓		
Israel	✓			✓		
Italia	✓	✓		✓	✓	
Japón	✓	✓	✓	✓	✓	
México	✓					
Países Bajos	✓	✓		✓	✓	
Nueva Zelanda	✓					
Rumania	✓			✓		
Sudáfrica	✓	✓				
Corea del Sur	✓	✓				
Suiza	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Taiwán	✓	✓		✓		
Reino Unido	✓	✓		✓		
Estados Unidos	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: Meridian Institute, 2004.

Las redes de investigación también constituyen un aspecto muy importante en el desarrollo del estado del conocimiento científico y tecnológico y sus respectivas externalidades. Hay países en la Unión Europea, como Alemania, Francia, Reino Unido, Finlandia, Bélgica y Rumania cuentan con un importante crecimiento de redes de investigadores a nivel nacional. Adicionalmente, el esfuerzo por fomentar redes de investigadores a nivel internacional se ha realizado esencialmente en Francia, Alemania, Italia, Suecia, España y Polonia (Folea, 2003, citado en Abicht et al 2004: 27).

Conclusiones

En el contexto de la economía del conocimiento, la nanotecnología emerge como un nuevo paradigma tecnológico que augura significativas contribuciones en los ámbitos científico y tecnológico y, que influirá de manera decisiva en el futuro de la humanidad. La investigación y la manipulación a nivel de nanoescala, implica una verdadera y compleja revolución tecnológica que atañe a diversas disciplinas científicas y tecnológicas a la vez.

A diferencia de la anterior revolución tecnológica, en la cual los materiales se adaptaban etapa por etapa en función de la nueva demanda, en esta nueva revolución tecnológica los materiales se construyen átomo por átomo para obtener las características deseadas. En tal sentido, la nanotecnología posee enormes potencialidades productivas, médicas, ambientales, sanitarias, energéticas. Los nuevos desarrollos en la manufactura, basados en la nanotecnología, prevén una disminución de energía, reducción de desperdicio de materiales, menor uso de sustancias contaminantes, un aumento del reciclamiento de materiales, menores niveles de mantenimiento, mayores niveles de automatización y mejoría en los beneficios del conjunto de las industria manufactureras.

El desarrollo de este paradigma tecnológico emergente implica importantes esfuerzos destinados a la investigación y desarrollo, en el cual el papel de los gobiernos es crucial. El gobierno debe asumirse como un agente promotor del desarrollo de las nanociencias y las nanotecnologías, de la cooperación entre universidades y empresas nacionales e internacionales, del fomento del establecimiento de redes, la difusión de la nanotecnología, de la creación de nuevas carreras y postgrados en el campo de la nanotecnología, de incentivar la innovación, el patentamiento. El desafío para que los países sean partícipes de este nuevo paradigma tecnológico es enorme. Entre esos enormes desafíos se incluyen todos aquellos aspectos que puedan tener efectos nocivos o puedan vulnerar a la humanidad en diferentes ámbitos. Las tendencias muestran que son especialmente los países industrializados los que han destinado mayor esfuerzo en el fomento de las nanotecnologías, en la I&D y las patentes concedidas, con ciertas diferencias de especialización ñaño tecnológica y en el que destaca el liderazgo de

Estados Unidos. No obstante, para países caracterizados por su rezago tecnológico vis a vis de los países industrializados, esta puede representar una importante oportunidad para incorporarse a esta nueva revolución tecnológica, que apunten a mejorar de manera sustantiva el crecimiento económico y el desarrollo social. El esfuerzo en I&D, en el marco de políticas integradas en sistemas nacionales de innovación, debe ser aun mayor que el realizado por los países industrializados. Las políticas de propiedad intelectual, en particular las de patentes, pueden ser cruciales en la posibilidad de converger tecnológicamente en este paradigma tecnológico emergente. Esta es un tema que debe ser profundizado en próximos trabajos.

Bibliografía

Abicht, L, H. Freikamp y U. Schumann (2006). "Identification for skill needs in nanotechnology", *Cedrofop Panorama Series: 120*, Luxemburgo, Office for Official Publications of the European Communities.

Bainbridge, W. (2007). *Nanoconvergence: the unity of nanoscience, biotechnology, and cognitive science*. Prentice Hall. United States of America. 250 pp.

Bruce, D. (2007). "Faster, Higher, Stronger". *Nano Now*, No. 1, febrero, pp. 18-19.

CIMAV et. al. (2008). *Diagnóstico y Prospectiva de la Nanotecnología en México*. Secretaría de Economía.

Delgado, G.C. (2008). *Guerra por lo Invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. México: UNAM.

Drexler, K. E. (1986). *Engines of Creation. the coming era of nanotechnology* Anchors Books. 299 pp. USA.

Dupuy, J-P. (2004). "Quand les Technologies convergeront". *Futuribles*, no. 300, septiembre, pp. 5-18.

ETC Group (2003) *The Big Down. Atomtech: technologies converging at nano-scale*. 86 pp. <http://www.etcgroup.org>

ETC Group (2005). *Potenciales repercusiones de las nanotecnologías en los mercados de productos básicos: consecuencias para los países en desarrollo dependientes de productos básicos*. <http://www.etcgroup.org>, 75 pp.

Gergely, A., Mayer, Brown, Rowe & Maw (2007). "Regulation of Nanotechnology, within reach?", *Nano Now*, February, pp. 44-46.

Foladori, G. y N. Ivernizzi (2006). "La nanotecnología: una solución en busca de problemas". *Comercio Exterior* Vol. 56, núm. 4, abril, pp. 326-334.

Hall, J. Storrs (2005). *Nanofuture: what's next for nanotechnology*. Prometheus Books. 333 pp. USA.

Huang, Z., Chen, H., Yip, A., Ng, G. Chen, Z-K, Roco, M (2003). "Longitudinal patent analysis for nanoscale science and engineering: Country, institution, and technology field", en *Journal of Nanoparticle research*, No. 5, pp. 333-363, Kluwer Academic Publishers. Netherlands

Huw, A. (2003). *Future Technologies, Today's Choice*. Green Peace. England. 72 pp.

Jaffe, A. Y M. Trajtenberg (2002): *Patent, Citations, and Innovations*, The MIT Press Cambridge, Massachusetts, Londres.

Kerorguen, Yan de. 2006. *Les nanotechnologies, Espoir, menace ou miracle?*. Paris : éditions Lignes de Repères.

Lipsey, R. (2005). "Las fuentes del dinamismo económico continuo de largo plazo en el siglo XXI"; en *El futuro de la Economía Global*. OCDE- CIECAS, IPN.

Meridian Institute (2005). *Nanotechnology and the Poor: opportunities and risks*. Pp. USA.

Meridian Institute (2007). *Nanotechnology, Commodities & Development*. Brazil, 41 pp.

Mulhall, D. (2002) *Our Molecular Future*. Prometheus Books, 392 pp. USA.

Mumasinghe, et. al (). *Nanotechnology, Water & Development*. USA. 43 pp. Meridian Institute.

Roco, M. C. (2007). "National Nanotechnological Initiative: Past, Present, Future". Taylor and Francis, *Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology*, pp. 3.1-3.26. USA.

Roco, M.C. y W. Bainbridge (coords.) (2002) *Converging technologies for improving Human Performances*. US National Science Foundation report.

Royal Society and Royal Academy of Engineering. 2004. "Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties". julio.

Office of Science & Innovation, “Science & Technology Cluster, overview of key trends up to 2015-2020”, documento diciembre 2006.

Silberglitt, R, P.S. Anton, D. Howell, y A. Wong (2006). The Global Technology Revolution 2020, in Depth Analyses. RAND. *National Security Research Report.316* pp. 336.

Singh, K. (2007). “Intellectual Property in the Nanotechnology Economy”. *Institute of Nanotechnology*. Londres. 9 pp.

USPTO (2007). “Classification Definitions Class 977, Nanotechnology”, octubre.

Young, S. (2006) *Designer Evolution: a Transhumanist Manifesto*. Prometheus Books, . 417 pp.