
NANOTECNOLOGÍA: NOCIONES BÁSICAS, IMPORTANCIA ACTUAL Y ALCANCES DE UNA RAMA EMERGENTE DE LA ECONOMÍA DEL CONOCIMIENTO

*Alejandro Toledo Patiño*¹

Resumen

El artículo expone las nociones, conceptos y referentes básicos de la nanotecnología. Destaca su importancia en los programas de financiamiento público a nivel mundial y explora su previsible irrupción en las más diversas actividades, productos y servicios. Se discute el carácter y alcances de la revolución tecnológica que ella implica. Por último se señalan algunos de los principales rasgos de la dinámica de la patentes nanotecnológicas, durante el periodo 1979-2004 a fin de identificar los campos tecnológicos, las empresas y los países que se encuentran a la cabeza de la innovación en esta rama de la economía del conocimiento.

1. Introducción

Al día de hoy existe una creciente y diversa cantidad de productos nanotecnológicos: desde procesadores electrónicos hasta cosméticos y alisadores de cabello, pasando por medicamentos, textiles y levas para motores de automóviles y de aviones. Se escucha o lee acerca de la nanotecnología cada vez más en los medios de comunicación, a la par que el financiamiento público y privado para su investigación y desarrollo vive desde inicios del siglo XXI un auge sin precedentes en las principales economías del mundo. Asimismo, en el preámbulo aún de lo que será su despegue comercial e industrial, la nanotecnología es un campo que progresa rápidamente en descubrimientos e innovaciones. Ella es considera-

¹ Profesor Investigador Titular "C". Área de Economía Política. Departamento de Economía. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Este artículo es un resultado preliminar del proyecto de investigación "Nanotecnología: estado actual y perspectivas económicas en México". DCSH. UAMI.

da por gobiernos, centros de investigación públicos, privados y militares de los principales países del mundo, como un auténtico punto de encuentro en la convergencia tecnológica en curso (informática-telecomunicaciones, biotecnología, robótica y ciencias del cerebro). Su dominio, se estima, resulta estratégico para la competencia industrial, militar y espacial de las próximas décadas.

La nanotecnología promete grandes avances productivos y beneficios para la humanidad debido a sus potencialidades en la mejoría de bienestar económico, social y ambiental. Se anuncia que implicará procesos productivos basados en energía barata, no contaminante y con una alta productividad agrícola e industrial, desarrollará medios informáticos y de comunicación más rápidos y accesibles, así como eficaces sistemas para administrar y mejorar medicamentos, al tiempo que permitirá revolucionarios métodos para potabilizar el agua. La otra cara de la nanotecnología es que genera gran incertidumbre y preocupación en cuanto a los posibles riesgos de su uso para la salud de las personas y la protección del medio ambiente.

De hecho el abanico de interrogantes que a nivel económico abre la nanotecnología es muy amplio: ¿qué cambios productivos está generando? ¿Cómo se relaciona con las nuevas tecnologías? ¿Cuáles son sus dimensiones económicas actuales? ¿Cómo se están configurando las cadenas internacionales de producción de esta naciente industria? ¿Qué países dominan el mercado mundial de productos y procesos nanotecnológicos? ¿Cómo están impulsando la innovación en este campo gobiernos, universidades y empresas? ¿Qué papel puede jugar la nanotecnología en el desarrollo económico de países periféricos? De especial interés también es 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 que los bienes nanotecnológicos sustitutos traerán consigo.

El presente artículo no pretende dar respuesta a este amplio conjunto de interrogantes que recién comienza a abrirse al debate y a su estudio crítico. Las siguientes líneas se limitan a tres objetivos: 1) introducir al lector en el tema de la nanotecnología; 2) discutir la importancia de ésta

en el cambio tecnológico contemporáneo y sus repercusiones industriales y comerciales más significativas, y; 3) considerar los procesos de patentación nanotecnológica a fin de conocer qué países, empresas y campos industriales están despuntando en esta rama emergente de la economía del conocimiento. El artículo pretende ofrecer un panorama general y resumido de la temática nanotecnológica a partir de una amplia y actualizada revisión bibliográfica.

La estructura de exposición del artículo es la siguiente: en el segundo apartado se exponen algunas definiciones, nociones y referentes básicos de naturaleza científica, técnica e histórica en torno al tema; el tercer apartado discute las potencialidades no sólo productivas de la nanotecnología, sus posibles riesgos, aplicaciones actuales y próximas así como sus principales campos de evolución; el cuarto apartado ofrece un primer acercamiento a los estudios existentes en torno al registro de patentes nanotecnológicas a nivel mundial; el quinto apartado expone las principales conclusiones del artículo.

2. Nociones básicas

2.1 Definiciones

El término “nanotecnología” se acuñó en 1975 a propuesta del japonés Norio Taniguchi (Universidad de Tokio, Japón) con el propósito de hacer referencia a la tecnología aplicada a escala atómica y molecular. El nanómetro equivale a la mil millonésima parte de un metro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), y es lo que aproximadamente miden, alineados, 10 átomos de carbono. Una molécula de ADN mide 2.5 nm de ancho, un glóbulo rojo tiene un diámetro de 5 000 nm y el grosor medio de un cabello de mujer es de menos de 100 000 nm. (Royal Society, 2004: 4; ETC, 2003: 11; Stix, 2001: 32) .

El diminuto universo de átomos y moléculas se comporta de acuerdo a las aún poco conocidas leyes de la física o mecánica cuántica y no conforme a las leyes de la física clásica. En pocas palabras: la materia se comporta de manera diferente a escala nano. De inicio hay que considerar que los electrones se desplazan de órbita al interior del átomo sin pasar por los puntos intermedios en su trayecto (salto cuántico). Además cualquier componente o elemento químico que en tamaño “macro” po-

see cierto color, consistencia, cualidades y propiedades, a escala nano puede ser y comportarse de modo muy diferente, del todo distinto incluso.

Las nanociencias son el conjunto de disciplinas que buscan comprender las leyes que gobiernan este universo. Tienen como propósito el estudio de las propiedades que presenta la materia a nivel atómico y molecular (térmicas, eléctricas, magnéticas, ópticas, químicas, etcétera). Las nanotecnologías, a su vez, se refieren al conjunto de técnicas y procedimientos que permiten manipular y *reconfigurar atómicamente y molecularmente la materia* y, por consiguiente, modelar a voluntad sus características y desempeño.

Algunos estudiosos del tema consideran que el término genérico de nanotecnología no es correcto y han propuesto el concepto de tecnología atómica -atomtech- ya que el prefijo nano se refiere a la dimensión o escala de la tecnología pero no al objeto o campo de estudio y trabajo: el átomo. En este concepto de “atomtech” se incluye a todas las tecnologías que convergen a escala nano (biotecnología, tecnologías de la información y comunicación, robótica, ciencias cognitivas) (ETC, 2003).

La Iniciativa Nacional en Nanotecnología (NNI) de los Estados Unidos de América (EUA) definió a las nanociencias y a la nanotecnología como: 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” (Roco, 2008). A su vez, la Real Sociedad y Real Academia de Ingeniería del Reino Unido definen a la nanociencia como “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, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas mediante el control de forma y tamaño a escala nanométrica” (Royal Society, 2004)².

² N. Taniguchi señaló en 1974 que “la nanotecnología consiste principalmente en el procesamiento, separación, consolidación y deformación de materiales mediante un átomo o una molécula”.

Tal vez lo más apropiado sería hablar no únicamente de nanotecnologías (“amplio rango de herramientas, técnicas y aplicaciones potenciales”) sino también de nanociencias puesto que también es amplio el rango de disciplinas científicas que convergen en lo nano: metrólica, ingeniería, biología, química inorgánica y orgánica, física –en todas sus ramas: óptica, termodinámica, electrónica, hidráulica, etcétera. En este artículo el uso del término nanotecnología se hace precisamente en este sentido de amplia confluencia de disciplinas.

2.2 Breve recuento de su evolución

Para valorar la trascendencia que guarda la nanotecnología es conveniente destacar que ella tiene como objetivo o meta última la *recreación humana de la materia*, su reconfiguración atómica y molecular a voluntad y de acuerdo a propósitos y usos específicos. El libro que marcó en 1986 el inicio de la difusión de la nanotecnología lleva por título precisamente el de *Engines of Creation (Máquinas de la Creación)* y fue escrito por Eric Drexler (1986), considerado un autor pionero y de los más controvertidos sobre el tema.

Tres décadas antes, en diciembre de 1959, en la reunión anual de la American Physics Association, Richard P. Feynman dictó la conferencia que anunciaría al mundo el nacimiento de nanociencias y nanotecnologías: “*There’s a plenty of room at the bottom*” (“*Hay abundante espacio en el fondo*”). Esta plática es un hito pues Feynman, premio Nóbel de física en 1965 y uno de los más destacados físicos teóricos de la segunda generación del siglo XX, sostuvo que en el futuro sería posible fabricar nuevos productos a partir del reordenamiento de átomos y moléculas. Su modelo explicativo fue muy simple y basado en las células: “... son muy chiquitas, pero están muy activas; fabrican diversas sustancias, andan por ahí y hacen toda clase de cosas maravillosas. Todo en una escala muy pequeña. Además almacenan información. Consideren la posibilidad de que también nosotros podamos construir una cosa muy pequeña y que ésta haga lo que queramos, que podamos fabricar un objeto que maniobre a ese nivel” (Drexler, 1986).

El instrumental requerido para comenzar a hacer realidad esa futurista especulación científica se hizo realidad en los años ochenta: mi-

croscopios electrónicos altamente perfeccionados que permitieron observar y manipular la materia a escala nano. En 1982 se patentó el Scanning Tunneling Microscope (STM) –Microscopio de Efecto Túnel– y, a fines de esa década, el Atomic Force Microscope (AFM) –Microscopio de Fuerza Atómica–.

El Microscopio de Efecto Túnel hace posible ver a escala nanométrica indirectamente, 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 sólo 10 nm. El flujo de electrones que va de la aguja a la superficie mantiene constante esa distancia. Si la superficie sube, aquella también lo hace, si baja, también descende. 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. Los científicos Berd Binnig y Heinrich Rohrer, creadores del STM, obtuvieron en 1986 el premio Nóbel de Física.

El Microscopio de Fuerza Atómica opera con un principio semejante: una aguja que en este caso va tocando y “leyendo” una determinada superficie a la que reproduce en una imagen en pantalla. En comparación con el modelo de microscopio precedente, el atómico tiene la ventaja de que permite trabajar con materiales que no son altamente conductores eléctricos tales como células, tejidos y material biológico en general (ETC, 2003: 14), lo cual amplía considerablemente el rango de sus aplicaciones biotecnológicas y médicas.

Con tal instrumental de precisión atómica, Robert Curl, Harold Kroto y Richard Smalley (Premios Nóbel de Física 1996) descubrieron en las

postrimerías de los años ochenta unas peculiares estructuras de carbono de forma icosaédrica (parecidas a balones de fútbol): las “Buckyballs” o “fullerenes”³. A partir de estudios en torno a tales estructuras, conformadas por 60 átomos de carbono (C60) configurados en veinte hexágonos y doce pentágonos, en 1991 Sumio Iijima descubrió accidentalmente los nanotubos de carbono, uno de los resultados más importantes de la nanoinvestigación. Se trata de tubos formados por capas de grafito enrolladas sobre sí mismas. Existen de una sola capa (single wall) y de muchas capas (multi wall). A estos nanotubos se les considera un “material milagroso” pues presentan características y propiedades novedosas y sorprendentes. Son las fibras más resistentes hasta hoy día conocidas. Cien veces más fuertes que el acero y seis veces más ligeras que él. Poseen la relación largo/ancho más alta jamás construida por el hombre o vista anteriormente en la naturaleza⁴ y presentan un comportamiento electromagnético que les permite operar ya sea como semiconductor o bien como metal⁵ (Royal Society, 2004: 8-9).

Existen dos vías de investigación y desarrollo que siguen las nanociencias y nanotecnologías. Una es la vía “de abajo a arriba” y la otra es la vía “de arriba a abajo” (*bottom-up y top-down*). Se trata de un desarrollo peculiar de “doble filo” (Joch: 2005). La ascendente es la senda compleja. La descendente es la “sencilla”. En la actualidad esta última es la predominante y la que más ha incursionado con productos y procesos en los mercados. En general ésta es la nanotecnología que se deriva del proceso de “achicar” o “recortar” cada vez más la materia. Por esta vía ha sido posible acercarse a la precisión atómica de manera gradual, descendiendo en tamaño poco a poco, mediante refinamientos graduales de procesos de fabricación ya existentes. Desde fines de la década pasada estas nanotecnologías se aplican en el pulido de las obleas de silicio usadas en

³ Llamadas así en honor a Buckminster Fuller, promotor del domo geodésico como estructura arquitectónica ideal. En idioma español se utiliza también el término “fullereno”.

⁴ A fin de tener idea aproximada de tal relación podría ser útil imaginar un popote de un cm. de ancho y diez kilómetros de largo, de una sola pieza y que, además de ser flexible, no se deformara o rompiera por su peso.

⁵ Al enrollarse una capa de grafito en un nanotubo 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.

circuitos integrados, en el corte de discos de cerámica vítrea que operan como sustrato en discos duros de computadora, así como en el pulido de metales duros a fin de fabricar árboles de leva para motores de autos, barcos y aviones (Encarta, 2006).

Hall Storrs (2005:21) sostiene que la palabra “nanotecnología tiene dos significados diferentes. Uno es el amplio, la versión dilatada que significa cualquier tecnología que trate con algo de tamaño menor que 100 nm. El otro es el significado original de diseñar y construir máquinas en las cuales cada átomo y enlace químico está precisamente especificado”. Es decir: la nanotecnología de arriba a abajo es la modalidad o versión ligera (“*light*”) y la segunda es la modalidad dura (“*bard*”) o compleja.

La vía de investigación y desarrollo nanotecnológico que viene de abajo y se dirige hacia arriba, se encuentra fundamentalmente en etapa experimental, ubicada centralmente en el ámbito de las investigaciones y pruebas en laboratorios, como se expondrá en el siguiente apartado.

3. La gigantesca revolución de una tecnología enana

3.1 Lo nano es estratégico

En el año 2000 el gobierno de los Estados Unidos de América lanzó la Nanotechnology National Initiative (NNI). Le siguieron en 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 países cuentan con programas o estrategias de desarrollo nanotecnológicas respaldadas con cuantiosas aportaciones públicas (Roco, 2007).

A la cabeza del financiamiento público en pos de procesos, aplicaciones y productos nanos se encuentran los EUA, la Unión Europea y Japón. El Cuadro 1 muestra la evolución del gasto público mundial en investigación y desarrollo nanotecnológico durante el periodo 1997-2006.

CUADRO 1. GASTO GUBERNAMENTAL EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO NANOTECNOLÓGICO 1976-2006 (MMD)

Región/País	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Estados Unidos de América	116	190	255	270	464	697	862	989	1200	1351
Japón	120	135	157	245	465	720	800	900	950	980
Unión Europea ¹	126	151	179	200	225	400	650	950	1050	1150
Otros ²	70	83	96	110	380	550	800	900	1000	1200
Total	432	559	687	825	1534	2367	3112	3739	4200	4681

1: Incluye Suiza

2: Comprende esencialmente a Australia, Canadá, China, Corea del Sur, Europa Oriental, Israel, Singapur y Taiwán.

Fuente: Roco, 2007, p. 18, Cuadro 2.

Tres aspectos sobresalen del Cuadro anterior: a) el aventajado liderazgo de los EUA; b) el notable crecimiento del gasto total durante el periodo –1083%– el cual muestra un notable impulso a partir de 2001, y; c) el aún más sobresaliente crecimiento del gasto correspondiente al rubro de “otros” países/regiones –514%– superando en el 2006 los montos ejercidos por Japón o la Unión Europea.

En este subconjunto de “otros” sobresalen China, Corea del Sur y Taiwán, países que en el año 2004 invirtieron en conjunto 660 millones de dólares en investigación y desarrollo nanotecnológico, es decir, más de dos terceras partes de lo correspondiente al rubro de “otros” para ese periodo (900 millones de dólares).

La nanotecnología ha tenido un nacimiento peculiar, semejante en cierto sentido a las ciencias y tecnologías espaciales. A diferencia de la gran mayoría de las tecnologías claves surgidas en el capitalismo y que fueron impulsadas por el mercado (“*market push*”) abriéndose paso a partir de iniciativas empresariales y personales –como ocurrió con las tecnologías asociadas al ferrocarril, al automóvil, a la computadora– la nanotecnología está siendo notoriamente promovida desde la comunidad científica (“*science push*”) y desde los poderes públicos.

Para muchos expertos la nanotecnología implicará una revolución del tipo inducido, en su respectivo momento, por la industria textil, los

ferrocarriles, la industria automotriz, la computación. Se habla así de que es una tecnología precursora o que ella constituye un nuevo paradigma científico y tecnológico que supondrá desatar una auténtica segunda revolución industrial (Lipsey, 2005; Drexler, 1986).

Especialistas en nanotecnología de “abajo a arriba” estiman que esta última “tiene el potencial para incrementar nuestras capacidades físicas más que lo hecho por la revolución industrial, expandir nuestra capacidad para aprender y comunicar más que lo hecho por la imprenta, acelerar nuestra habilidad para viajar más que lo hecho por el barco y la rueda, así como ampliar los lugares en los que podemos vivir más que lo que ha permitido el uso de ropa. 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. Ella está por llegar, posiblemente en la siguiente década, probablemente en los próximos veinticinco años, casi con certeza en el siglo XXI” (Hall, 2005: 26)

Considerando las enormes perspectivas que abre la nanotecnología en el desarrollo de las capacidades productivas de la sociedad, sus partidarios más optimistas piensan que los cambios que provocará serán equiparables históricamente a lo que significó el paso del uso de la piedra al uso de los metales: un salto decisivo en la vida de la primitiva humanidad. De acuerdo a tales visiones, una ha sido la civilización producida a raíz de que nuestros ancestros llevaron a cabo la revolución de la metalurgia. Otra será la civilización que exista a partir de la revolución nanotecnológica (Drexler, 1896).

A fin de tener una idea de lo que los científicos partidarios de esta visión tienen en mente resulta oportuno referir aquí tres ejemplos extremos de investigación y desarrollo nanotecnológico. Uno: construir fábricas moleculares (“nanofabs”) con nanorobots (“nanobots”) en línea de ensamble y con capacidad para autoreplicarse. Dos: fabricación de nanocomputadoras electrónicas ensambladas químicamente (Chemically Assembled Electronic Nanocomputers, CAEN) las cuales tendrán capacidad para realizar simultáneamente billones de operaciones a costos energéticos ínfimos. Tres: nanoenfermeros y nanocirujanos que puedan detectar tempranamente enfermedades, suministrar medicamentos puntualmente *in situ* o reparar quirúrgicamente con fines preventivos o correctivos,

células, tejidos, órganos, neuronas, de nuestros cuerpos. Se trata de tres ejemplos cuya concreción según los más recientes estudios tendrá lugar – si sucede– en un plazo no menor de dos décadas (Silberglitt, Anton, Howell y Wong, 2006)⁶.

3.2 Incertidumbres y riesgos

Manipular la materia a escala nano, donde operan las aún parcialmente desconocidas leyes del universo cuántico, implica en sí una gran incertidumbre y abre la posibilidad de no pequeños riesgos para la salud y la naturaleza. Informes y reportes oficiales y privados en los EUA y Europa previenen sobre los posibles efectos que las nanopartículas pueden tener en el conjunto de los seres vivos (plantas, animales, seres humanos) y en el entorno ambiental en general, dada su capacidad para traspasar tejidos, adentrarse en organismos y alojarse en células de todo tipo (Foladori e Invernizzi, 2006).

Los estudios efectuados hasta ahora no son en modo alguno concluyentes en cuanto a los peligros y riesgos, pero hablan de la necesidad de establecer políticas y medidas que estudien y regulen el uso de nanopartículas y nanocomponentes de modo que se garantice la protección de la población y del medio ambiente (Huw, 2003;). Hay quienes han propuesto una moratoria en la investigación y aplicación de productos nanos hasta que no se establezca un organismo internacional de expertos que vigile y evalúe sus impactos en todos los campos, desde el ambiental hasta el ético y social (ETC, 2003: 73-75). Estudios más recientes insisten en la importancia de hacer del conocimiento público el trabajo de especialistas que evalúen 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 (Meridian Institute, 2005: 8-9; Gergely, Mayer, Brown, Rowe y Maw, 2007).

Igualmente se advierten los riesgos del uso de la nanotecnología con fines militares. Los principales ejércitos del mundo se encuentran

⁶ 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 general a las tesis de Drexler ver Bainbridge (2007).

inmersos ya, por supuesto, en investigaciones de tal naturaleza. Se diseñan “uniformes inteligentes” con capacidad para reaccionar a variaciones de luz, humedad y temperatura en los teatros de operaciones de los soldados; también se llevan a cabo proyectos en torno a armamento autoejecutable, nanopartículas destructoras o venenosas, nanoespías, o bien nanodispositivos que podrían ser genéticamente dirigidos contra ejércitos o contra grupos étnicos, comunidades religiosas, etcétera (Foladori e Invernizzi, 2006: 331; Delgado, 2007).

En el caso de los Estados Unidos de América destaca que sea el Departamento de Defensa, después de la Fundación Nacional para la Ciencia, la dependencia federal con mayor cantidad de fondos desde el inicio de la NNI, con un presupuesto superior, año tras año, al de cualquier otra dependencia federal. Mientras que su presupuesto acumulado durante 2000-2007 fue de 1925 millones de dólares (MD), el del Departamento de Energía sumó 1 303 MD, el del Departamento de Agricultura 155 MD y el de la Agencia de Protección Ambiental únicamente 42 MD (Roco, 2007: 17). De seguir esa dinámica de gasto y hacerse extensiva a otros países, hay autores que han advertido sobre la posibilidad de que en los próximos lustros se desate entre las principales potencias una carrera nanoarmamentista (Foladori e Invernizzi, 2006: 332).

Pero al margen de las potencialidades y riesgos del uso de la nanotecnología y que debaten sus partidarios y críticos, una cuestión parece ser irrefutable: ella cambiará ideas y concepciones sobre la naturaleza última de la materia y modificará la capacidad del ser humano para ya no sólo transformar sino, literalmente, reconfigurar el mundo que lo rodea. Implicará, también, transformar las capacidades del ser humano para reconfigurarse a sí mismo, tanto en cuerpo como en mente, como lo postula la filosofía del “transhumanismo” (Dupuy, 2004: 15-16; Young, 2006).

3.3 Productos y aplicaciones actuales y próximas

La lista siguiente, tomada de un estudio publicado en el 2005 (Meridian Institute, 2005: 3) establece doce sectores de actividad económica en los que ya se aplicaban, o se aplicarían en el transcurso de la presente década, productos nanotecnológicos:

-
1. Automotriz (materiales ligeros, pintura antirallado, catalizadores, llantas, sensores, recubiertas para ...).
 2. Química (componentes, adhesivos, fluidos magnéticos, materiales compuestos, plásticos, hules).
 3. Metal mecánica (protectores y lubricantes de maquinaria, herramientas, equipo industrial y agrícola en general).
 4. Electrónica (pantallas, memorias, diodos láser, fibra óptica, contactos ópticos, filtros, recubiertas conductoras, antiestáticas).
 5. Construcción (nuevos materiales, aislantes, impermeabilizantes, barnices antifuego, para el tratamiento de madera, pisos, recubrimientos, etc..).
 6. Medicina (sistemas de administración de medicamentos, adhesivos dentales, medios de contraste, sistemas de exámenes y diagnósticos in situ, prótesis, implantes, agentes antimicrobianos).
 7. Textiles (recubrimientos de telas, ropa inteligente).
 8. Energía (celdas solares, baterías, pilas).
 9. Cosméticos (protectores solares, lápices labiales, cremas, pastas de dientes, maquillaje).
 10. Alimentos y bebidas (empaques, sensores, aditivos, clarifiers).
 11. Domésticos (diversos productos de limpieza y conservación de vidrio, madera, cerámica, metales).
 12. Deportes (lentes, goggles, raquetas, palos de golf).

Este listado podría hacerse extensivo en la actualidad a la industria aeroespacial, naviera, petrolera, portuaria, del agua, del vidrio, de los fertilizantes, de la construcción y del medio ambiente. Se estima que en la próxima década de este siglo, “la nanotecnología estará ingresando a una etapa de difusión y adopción industrial abarcando toda esta amplia gama de productos y actividades. Mientras tanto, ella recorre una fase “pre-competitiva”, es decir, previa a su comercialización y centrada fundamentalmente en la investigación: proyectos científicos, diseños preliminares y experimentos y pruebas en laboratorio.

En uno de los más recientes estudios de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de los Estados Unidos de América (NNI) (Roco, 2007: 28-30) se consideran cuatro fases en la trayectoria evolutiva de los inicios de los prototipos industriales y de la comercialización nanotecnológicas durante el lapso 2000-2020:

- Productos de primera generación (presentes en los mercados aproximadamente a partir del 2000): nanoestructuras pasivas utilizadas para configurar propiedades y funciones a escala normal y cuyo comportamiento específico no varía en el tiempo; se utilizan como elementos de dispersión y contacto presentes en aerosoles, recubrimientos, compuestos reforzados, etcétera.
- Productos de segunda generación (incorporándose a los mercados aproximadamente a partir del 2005): nanoestructuras activas con fines electrónicos, magnéticos, biológicos integradas a sistemas y dispositivos micro. Existen dos tipos de nanoestructuras : biológicas (presentes en medicamentos y en biodispositivos, músculos artificiales y estructuras adaptativas) y fisico-químicas (operando en transistores, amplificadores).
- Productos de tercera generación (a aparecer en los mercados a partir del 2010, aproximadamente): sistemas de nanosistemas tridimensionales utilizados en bioensamblaje, 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).
- Productos de cuarta generación (a partir del 2015 en adelante): 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.

3.4 Principales áreas de investigación y desarrollo

En la actualidad son cuatro las grandes áreas en las que se pueden dividir nanociencias y nanotecnologías: 1) Nanomateriales; 2) Nanometrología; 3) Electrónica; Optoelectrónica y Tecnologías de la Información y Comunicación; 4) Bionanotecnología y nanomedicina. En el mundo real de los laboratorios y proyectos estos cuatro campos se influyen unos a otros y se traslapan entre sí (Royal Society, 2004: 7-16).

Los nanomateriales constituyen una de las áreas de mayor y más antiguo desarrollo. Existen nanomateriales de una, dos y tres dimensiones. En recubrimientos (películas y materiales de una dimensión) se utilizan en la industria química, en la ingeniería y en la electrónica desde hace décadas. En el área de nanopartículas (materiales de tres dimensiones) su uso es el que más ha despuntado recientemente y está ya presente en cosméticos, protectores de piel, lentes para sol, materiales para la construcción, ventanas repelentes al agua y al polvo. En el transcurso de la presente década se utilizará en pinturas, anticontaminantes de tierra y agua, catalizadores de hidrógeno para generar combustible, pantallas de televisores, computadoras y monitores de todo tipo, baterías (“pilas”), aditivos para combustibles así como en catalizadores. En contraste, el uso de los nanotubos de carbono, nanotubos inorgánicos, fullerenes, nanocables (materiales de dos nanodimensiones) y biopolímeros tendrá lugar en un mediano/largo plazo (Royal Society, 2004: 7-12).

En lo que se refiere a la nanometrología –que consiste en el estudio de la medición de las dimensiones y las fuerzas de lo nano, donde la temperatura y otros factores modifican sensiblemente tamaño y propiedades de los objetos– se ha escrito ya en páginas previas sobre el paso decisivo que significaron durante los años ochenta la invención de los microscopios de efecto túnel y de fuerza atómica (STM y AFM). De hecho la nanometrología condiciona el ritmo de evolución en el resto de los campos nanotecnológicos pues ella se encarga estudiar la precisión en los procesos y productos efectuados y, eventualmente, hace posible la estandarización de los mismos. En los años recientes los avances logrados en este terreno han permitido ya la elaboración de componentes electromecánicos con menos de 50 nm., incorporados a los Sistemas Nano-Electrónico-Mecánicos (NEMS) presentes en los chips. (Royal Society, 2004: 12-14)

Bionanotecnología y nanomedicina parecen ser de las áreas más prometedoras en el mediano y largo plazo, específicamente en lo referente a detección, diagnóstico (“*Lab-on-a-chip*”), sistemas de administración de medicamentos (nuevos y ya existentes), implantes de prótesis y procesamiento de imágenes médicas. De hecho en este campo la nanotecnología confluyendo con la biotecnología, la robótica y la neurología, abrirá en el largo plazo la posibilidad de trascender un conjunto de limitaciones físi-

cas y hasta mentales del ser humano, permitiéndole a las personas poder ser más saludables, más fuertes, más inteligentes, más capaces, más longevos, etcétera (Bruce, 2007; Silberglitt, *et. al.* 2006: 222; Roco, 2002).

En la actualidad se utilizan nanopartículas de óxido de plata en productos antibacteriales, así como también se hace uso rutinario de moléculas de ácido desoxirribonucleico (DNA) para el análisis en laboratorios de genes y proteínas. En esta área, por supuesto, la aplicación de los conocimientos y descubrimientos es más lento que en otros pues se requieren de años de pruebas para validar el uso de los nuevos medicamentos y métodos clínicos (Royal Society, 2004: 17-20)

Es en el área de la electrónica y tecnologías de la información y computación, donde la nanotecnología ha tenido un desarrollo más notable, ya que la evolución de este sector se ha caracterizado precisamente por la miniaturización de componentes –transistores–. Esta reducción o encogimiento ha ido ligada a una expansión de las capacidades de memoria y de velocidad en el procesamiento de la información. Ha estado vinculada, también, a un gran salto en la productividad que ha permitido una reducción de más de mil veces en los costos de producción de un transistor (Royal Society, 2004: 20-23). De hecho hoy día el principal campo de aplicación de la nanotecnología se encuentra en el corazón mismo de la industria de los semiconductores. En la última década la nanotecnología ha permitido dar continuidad al proceso de miniaturización de componentes electrónicos –circuitos integrados específicamente– previsto por la Ley de Moore. El sofisticado instrumental nanotecnológico requerido para elaborar chips cada vez más pequeños, rápidos y eficientes, provoca reestructuraciones productivas profundas en el sector de los semiconductores, lo que requiere cuantiosas y crecientes inversiones para llevar a cabo la instalación y puesta en marcha de nuevas plantas.

A fines de los años noventa Pentium Intel incorporaba chips de 300 nm con capacidad para 1.5 millones de transistores, así como chips de memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM) con capacidad para contener 64 millones de transistores. Los chips de 90 nm se comenzaron a producir en 2004 y el 2005 se probaron prototipos de chips de 60 nm y de 45 nm., los cuales aparecen en el mercado en 2006. La fabricación de estos chips se lleva a cabo mediante diversas técnicas nanolitográficas ta-

les como el uso de destellos de electrones (EDBW), los baños de luz ultravioleta extrema, la nanoimpresión Step and Flash y la termoplástica, entre las más conocidas. Estas dos últimas parecen ser las técnicas más prometedoras para elaborar componentes de 32 nm. La hoja de ruta de la industria de los semiconductores estima que entre el 2013 y 2019 se producirán circuitos integrados de 6 nm., una dimensión quince veces menor que los predominantes actualmente, de 90 nm (Kanellos, 2003).

4. La economía del conocimiento diminuto

Si bien la nanotecnología se encuentra, en lo fundamental, en un nivel “pre competitivo”, ella se distingue por su rápida incursión y desarrollo en múltiples actividades industriales y productos de muy diverso tipo. En la próxima década ingresará a una etapa de difusión amplia en su uso y a su consecuente despegue económico en los mercados internacionales. A principios del siglo XXI Roco y Bainbridge estimaron en un billón de dólares (*trillion of dollars*) el valor de los productos con nanotecnología hacia el 2015 y en 7 millones el número de puestos de trabajo creados en torno a actividades nanotecnológicas (Roco, 2007: 4). Al ser cruce donde confluyen e interaccionan multitud de disciplinas científicas y tecnologías diversas, los modernos nanoproductos que están apareciendo en los mercados son representativos de las actividades económicas basadas en el uso intensivo de la ciencia y el conocimiento especializado. La nanotecnología constituye así una rama emergente de la llamada economía del conocimiento (David, 2002).

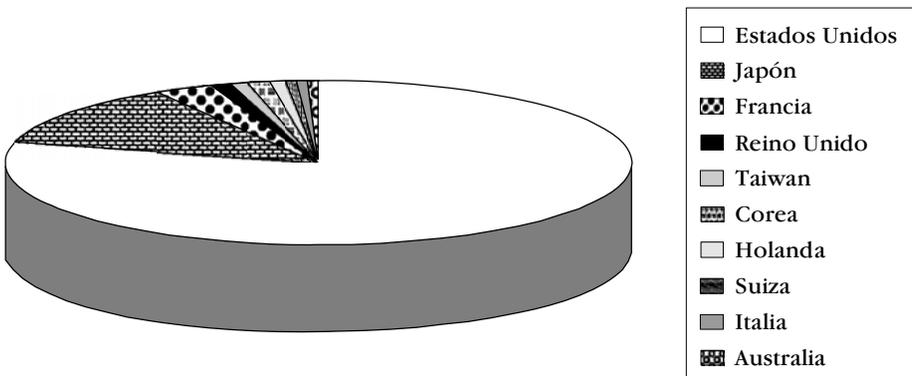
El análisis de patentes es una forma de estimar el avance científico, sus fuerzas conductoras, sus diversos campos de investigación y desarrollo, los vínculos entre dichos campos, los inventores, los países, las instituciones y las firmas involucradas. Un amplio estudio sobre los procesos de patentación en nanotecnología registrados en la United States Patent Trademark Office (USPTO) durante el periodo 1976-2002 (Huang, *et. al*, 2003) arrojó los siguientes resultados fundamentales:

- Contabilizando un total de 77 605 patentes, en las que participaron 123 752 inventores de 228 países y de 69 927 instituciones o empresas, los Estados Unidos de América encabezan, de lejos, la lista de países con

mayor número de patentes (80%), seguido remotamente por Japón (alrededor de 10%), Francia (alrededor de 3%), y con porcentajes menores al 1% Reino Unido, Suiza, Taiwán. Italia. Corea, Holanda, Suecia, Bélgica, Finlandia y Dinamarca.

- De un total de 22 608 patentes registradas entre enero de 2000 a abril de 2003 en la USPTO, la Gráfica 1 ilustra la distribución de las patentes nanotecnológicas entre países con porcentajes similares a los observados en el periodo 1976-2002⁷:

GRÁFICA 1. PATENTES NANOTECNOLÓGICAS 2000-2003



Fuente: Huang, et. al, 2003.

⁷ Otras estimaciones arrojan porcentajes diferentes. Roco (2007: 22) considerando el periodo 1990-2005, afirma que los Estados Unidos de América tienen más del 60 por ciento de las nanopatentes en la USPTO en tanto que Europa, Japón y otros se reparten menos del 40 por ciento restante en proporciones casi similares. Delgado (2008) estima, con base en la USPTO y considerando el periodo que los EUA tienen el 46% de las nanopatentes, 27% Japón, 19% la Unión Europea y 8% otros; el mismo autor, tomando como fuente la Oficina Europea de Patentes (OPE) estima que 42.6% de las nanopatentes corresponden a la Unión Europea, 28.6% a los EUA, 21.7% a Japón y 7% a otros.

- Las empresas e instituciones que dominan los procesos de nanopatentación se concentran en los EUA y Japón. Los siguientes veinte nombres encabezan la lista:

CUADRO 4. VEINTE FIRMAS E INSTITUCIONES CON MAYOR NÚMERO DE NANO PATENTES, 1976-2002

Puesto	Nombre	Número de patentes
1	International Business Machines Corporation	2092
2	Xerox Corporation	1039
3	Minnesota Mining and Manufacturing Company (3M)	809
4	Micron Technology, Inc.	781
5	Eastman Kodak Company	738
6	Motorola, Inc.	705
7	Texas Instruments Incorporated	694
8	NEC Corporation	608
9	The Regents of the University of California	540
10	The United States of America as represented by the Secretary of the Navy	525
11	Canon Kabushiki Kaisha	505
12	Advanced Micro Devices, Inc.	502
13	General Electric Company	491
14	Hitachi, Ltd.	462
15	Hewlett-Packard Company	434
16	Kabushiki Kaisha Toshiba	412
17	E. I. DuPont de Nemours and Company	362
18	Lucent Technologies Inc.	341
19	Intel Corporation	341
20	The Dow Chemical Company	322

Fuente: Huang, *et. al.*, 2003, Cuadro 5.

- Desde la perspectiva de su uso industrial, 18 784 patentes corresponden a la industria química, farmacéutica y de catalizadores (23%); 16 704 a la electrónica (20.44%); 4860 a la de materiales (5.95 %) y 41 352 a otros (50.61%). El Cuadro 5 indica los veinte principales “campos tecnológicos” a los que corresponden las patentes:

CUADRO 5. PRINCIPALES CAMPOS TECNOLÓGICOS DE LAS NANOPATENTES 1976-2002

Campo	Número de patentes
Chemistry: molecular biology and microbiology	7946
Drug, bio-affecting and body treating compositions (CCL-514)	6183
Drug, bio-affecting and body treating compositions (CCL-424)	4683
Radiant energy	4657
Stock material or miscellaneous articles	3939
Active solid-state devices (e.g. transistors, solid-state diodes)	3933
Semiconductor device manufacturing: process	3877
Organic compounds - part of the class 532-570 series	3756
Chemistry: natural resins or derivatives; peptides or proteins; lignins or reaction products thereof	3753
Optics: systems (including communication) and elements	3404
Coating processes	3265
Chemistry: analytical and immunological testing	3027
Radiation imagery chemistry: process, composition, or product thereof	2983
Optics: measuring and testing	2957
Static information storage and retrieval	2310
Miscellaneous active electrical nonlinear devices, circuits, and systems	2286
Chemistry: electrical and wave energy	1864
Chemical apparatus and process disinfecting, deodorizing, preserving, or sterilizing	1829
Coherent light generators	1775
Compositions	1680
Multiplex Communications	1638

Fuente: Huang, *et. al.*, 2003, Cuadro 10.

Un estudio más reciente del Instituto de Nanotecnología del Reino Unido (Singh, 2007) indica que en los últimos años la mayor actividad de patentación se ubica en los sectores de la electrónica, la energía y los productos para la salud y el cuidado personal. En el campo de la nanoelectrónica, las principales patentes corresponden a Japón, Estados Unidos y Europa. Fujitsu y Samsung son las firmas líderes, seguidas por Hitachi, Agencia Japonesa de Ciencia y Tecnología, Hewlett Packard y Philips. En el sector de la energía el dominio pertenece también a Japón, seguido de Corea y los EUA. Las compañías líderes son Sony y Samsung. En el sector de la salud y el cuidado personal destacan los países de la Comunidad Europea, EUA, China y Rusia. Las empresas destacadas son L'Oréal, Elan Corp., Boston Scientific, Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) y Philips.

Dentro de las tendencias relevantes que destaca el mencionado estudio se encuentra el que 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% de las patentes nanotecnológicas clave y que si antes de 1980 las universidades obtenían en promedio 250 patentes por año a nivel mundial, en el 2003 esa cifra se elevó a 3 993 patentes (Singh, 2007: 8-10).

5. Conclusiones

La exposición realizada en los apartados anteriores permite arribar a las siguientes conclusiones:

Con el término genérico de nanotecnología se entiende al conjunto de ciencias y tecnologías que tienen como objetivo el estudio, la manipulación y la reconfiguración atómica y molecular de la materia. La nanotecnología es plataforma de convergencia de diversas disciplinas científicas y técnicas. Existe nanotecnología de arriba a abajo y nanotecnología de abajo a arriba. La primera es la que resulta del proceso de miniaturización de circuitos, componentes y materiales en general: La segunda es la que se propone no sólo manipular sino crear y reordenar la materia desde sus fundamentos atómicos y moleculares.

El financiamiento otorgado por gobiernos de alrededor de treinta países a la nanotecnología durante las dos últimas décadas no tiene precedente en la historia. Los Estados Unidos de América se encuentran en una posición de liderazgo a nivel mundial, seguidos de la Unión Europea y Japón. En un segundo término y con un dinamismo reciente muy superior a este primer grupo, se encuentran China, Taiwán y Corea.

La nanotecnología posee enormes potencialidades productivas, médicas, ambientales, sanitarias, energéticas: se trata de una auténtica revolución tecnológica que modificará profundamente el conjunto de las condiciones de vida. Por el aún desconocimiento parcial de las leyes del mundo nanométrico y de cómo se llegará a interrelacionar éste con el mundo a escala “normal”, ella genera preocupación en torno a sus efectos en órganos y tejidos de humanos, animales y plantas. La divulgación de los resultados de las investigaciones al respecto y el establecimiento de normas y regulaciones internacionales es un imperativo para el uso seguro de la nanotecnología. Especial preocupación generan las implicaciones del uso de la nanotecnología con fines militares.

Los productos y procesos nanotecnológicos son una realidad y están presentes en las más diversas industrias y actividades: automotriz, de cosméticos, química, textil, electrónica, informática, médicas, deportivas, etcétera. Se trata básicamente de productos nanotecnológicos de primera generación, unidimensionales y tridimensionales. El verdadero despegue económico de la nanotecnología se prevé tendrá lugar a partir de la próxima década. El valor de los productos nanotecnológicos en los mercados internacionales en el año 2015 alcanzará los 900 mil millones de dólares (mmd).

Las áreas principales en las que se desarrolla la nanotecnología son las de nanomateriales, nanometrología, electrónica, optoelectrónica, informática y la de biotecnología y nanomedicina. En particular los logros alcanzados en nanometrología y electrónica han permitido proseguir en los últimos años el proceso de miniaturización de componentes, dispositivos y aparatos electrónicos. Esos avances nanotecnológicos han sido también el motor de profundas reestructuraciones que tienen lugar actualmente en los procesos productivos de la industria de los semiconductores.

La nanotecnología constituye hoy día una rama emergente de la economía del conocimiento. De 1976 a inicios del presente siglo las patentes científicas en los EUA se concentraron en química, farmacéutica, electrónica y materiales. De los registros de patentes otorgados en ese mismo período, los Estados Unidos concentraron 80%, Japón 10% y Francia 3%.

Lo anterior permite afirmar que en cuanto al dominio nanotecnológico mundial existe una tríada conformada por los Estados Unidos de América, Japón y la Unión Europea. Sin embargo, se requiere abundar en los registros de patentes de los últimos años para poder determinar si esta estructura tripolar permanece conformada así o si países como China, Corea del Sur u otros países que emergen en la carrera nanotecnológica, han logrado o no avances significativos.

Bibliografía

- Bainbridge, William (2007). *Nanoconvergence: the unity of nanoscience, biotechnology, and cognitive science*, Prentice Hall, 250 pp. New York.
- Bruce, D. (2007). "Faster, Higher, Stronger". *Nano Now*, No. 1, February, pp. 18-19.
- David, P.A. y Forey, D. (2002). "Fundamentos económicos de la sociedad del conocimiento", *Comercio Exterior*, vol. 52, No.6, febrero, pp. 472-481, México.
- Delgado, G.C. (2007). "Nanotecnología militar y sus implicaciones" *Revista Mexicana de Política Exterior*, No. 79-80, agosto, Instituto Matías Romero-Secretaría de Relaciones Exteriores, México.
- Delgado, G.C. (2008). *Guerra por lo Invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*, UNAM, México.
- Drexler, K. Eric (1986). *Engines of Creation. The coming era of nanotechnology*, Anchors Books, New York, 299 pp.
- Dupuy, Jean-Pierre (2004). "Quand les Technologies convergeront", *Futuribles*, No. 300, septiembre, pp. 5-18, París.
- Encarta (2006). "Nanotecnología", Microsoft.
- ETC Group (2003). *The Big Down. Atomtech: technologies converging at nano-scale*, 86 pp. <http://www.etcgroup.org>
- Foladori, G. e Ivernizzi Noela (2006). "La nanotecnología: una solución en busca de problemas", *Comercio Exterior* Vol. 56, núm. 4, abril, pp. 326-334, México.
- Gergely, A., Mayer, Brown, Rowe & Maw (2007). "Regulation of Nanotechnology, within reach?", *Nano Now* 1, February, pp. 44-46.

- Huw, Alexander (2003). *Future Technologies, Today's Choice*, Green Peace, London. 72 pp.
- Hall, J.Storrs (2005). *Nanofuture: what's next for nanotechnology*, Prometheus Books, New York, 333 pp.
- Huang, Zan., 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, Amsterdam.
- Invernizzi, G. y Foladori, G. (2005). "¿La nanotecnología como solución a los problemas de los países en desarrollo?", *Nanotecnología*, Artículos, Euroresidentes.
- Joch, Alan (2005). "Samll Wonders", *Teradata Magazine*, Vol. 5 No. 3 September.
- Kanellos, Michael (2003). "Intel scientists find wall for Moore's Law"; *ZDNet News*, december 1.
- Lipsey, Richard (2005). "Las fuentes del dinamismo económico continuo de largo plazo en el siglo XXI"; en *El futuro de la Economía Global*, OCDE- CIECAS, IPN, México.
- Meridian Institute (2005). *Nanotechnology and the Poor: opportunities and risks*, 323 pp.
- Meridian Institute (2007). *Nanotechnology, Commodities & Development*. Río de Janeiro, 41 pp.
- Mumasinghe, et. al (2005). *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*. Washington, pp. 3.1-3.26.

Roco & Bainbridge (coords.) (2002). *Converging technologies for improving Human Performances*, US National Science Foundation Report, Washington.

Royal Society (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, London.

Secretaría de Economía (2008). *Diagnóstico y Prospectiva de la Nanotecnología en México*, México, 210 pp.

Silberglitt, R, Anton P.S., Howell, D, y Wong, A. (2006). "The Global Technology Revolution 2020, in Depth Analyses", RAND, *National Security Research Report* No. 316; Santa Mónica, 336 pp.

Singh, Kshitij (2007). "Intellectual Property in the Nanotechnology Economy", *Institute of Nanotechnology*, London. 9 pp.

Stix, Gary (2001). "Nanotécnica, la nueva ingeniería" *Investigación y Ciencia*, noviembre, Madrid, pp. 30-35..

Young, Simon (2006). *Designer Evolution: a transhumanist manifesto*, Prometheus Books, New York. 417 pp.