

I Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación CTS+I

Palacio de Minería del 19 al 23 de Junio de 2006

Nanotecnología: ¿hacia dónde nos llevará?

JUAN CARLOS CHEANG WONG

MESA 6



Resumen

Cada día es más frecuente escuchar los términos nanotecnología, nanopartículas, nanoestructuras, etc, en conversaciones de la vida cotidiana, pero para la mayoría de las personas aun es difícil imaginar estos términos fuera del contexto científico o de la ciencia ficción. Sin embargo, es innegable el impacto que el estudio de las nanociencias y los desarrollos nanotecnológicos tendrán en los ámbitos social, cultural y económico de la vida diaria de todos nosotros. Por un lado, el escenario positivo nos presenta los grandes beneficios que nos traerá la nanotecnología en los ámbitos de salud, alimentos, energía, medio ambiente, electrónica y telecomunicaciones, etc.

Sin embargo, la visión contraria nos muestra también, casi en los mismos ámbitos de aplicación, los riesgos que acarrearía el uso de los nuevos desarrollos nanotecnológicos. En este trabajo queremos hacer un paralelismo entre lo que sería la nanotecnología actual y lo que ha sido el desarrollo de la industria microelectrónica desde su origen hasta nuestros días, con el fin de resaltar los beneficios innegables que la microelectrónica ha aportado a nuestro modo de vida. Por otro lado, si nuestros países latinoamericanos no son capaces de afrontar las fuertes inversiones económicas que se requieren para realizar investigación en nanociencias, estaríamos rezagándonos una vez más de los grandes avances tecnológicos, como sucedió en el caso de la industria microelectrónica y de semiconductores.

Este hecho a la larga nos trajo dependencia económica y tecnológica de los países industrializados y constituye uno más de los riesgos colaterales que la nanotecnología traería a los países menos desarrollados si no se toman a tiempo las decisiones pertinentes para lograr una mayor inversión en ciencia y tecnología. Sin lugar a dudas, la nanotecnología será la ciencia del siglo XXI y nos traerá innumerables desarrollos en la industria electrónica y de la información, y en general con importantes aplicaciones médicas, industriales y medioambientales. La nanotecnología no solamente está abriendo el camino a la próxima revolución tecnológica, sino que el impacto social, cultural y económico que tendrá en nuestra vida diaria es apenas imaginable, ya que al igual que el automóvil y la computadora, la nanotecnología bien puede cambiar al mundo.

1. ¿Qué es la nanotecnología?

El prefijo "nano" proviene del latín "nanus" que significa muy pequeño o enano, y corresponde a una milmillonésima (10^{-9}) parte de algo. Generalmente se aplica a nombres de unidades de medida para designar el submúltiplo correspondiente. Así por ejemplo, un nanómetro (nm) equivale a la milmillonésima parte de un metro (o millonésima parte de un milímetro). Para tener un punto de comparación podemos decir que un cabello humano tiene 80000 nm de grueso, que el diámetro de una molécula de ADN es de 2.5 nm y que el diámetro de un átomo es de un tercio de nanómetro.

Las nanociencias se pueden describir como aquellas que estudian estructuras u objetos con al menos una de sus dimensiones en la escala del nanómetro. El análisis de dichas estructuras incluye la caracterización de sus propiedades (sean químicas, mecánicas, electrónicas, ópticas, magnéticas, etc.), el estudio de la interacción que puedan tener con otras nanoestructuras, con ondas electromagnéticas, con medios biológicos, etcétera y la descripción de los

fenómenos que puedan ocurrir a dicha escala. Por otro lado, la nanotecnología correspondería a la capacidad técnica para modificar y manipular la materia para poder desarrollar estructuras o dispositivos funcionales, con dimensiones inferiores a los 100 nm, para potenciales aplicaciones tecnológicas [1,2]. Por ejemplo, una estructura típica en los dispositivos producidos por la industria microelectrónica actual sería cientos de veces más grande que una nanoestructura con dimensiones inferiores a unas pocas decenas de nanómetros. Hasta ahora las estructuras más pequeñas que se han alcanzado en circuitos integrados hechos en laboratorios de investigación van de los 10 a los 20 nm, es decir, una décima parte de las dimensiones que encontramos actualmente dentro de los circuitos integrados comerciales.

La primera referencia detonadora de la posibilidades de las nanociencias fue la plática que Richard Feynman (Premio Nobel de Física, 1965) dio en 1959 en la reunión anual de la American Physical Society con el título "Hay espacio de sobra al fondo" [3], en la cual predecía la posibilidad de que los físicos pudieran eventualmente manipular la materia a la escala molecular y aun a la escala atómica, y que esto debería producir una nueva revolución tecnológica. "Los principios de la física, como yo los veo, no niegan la posibilidad de maniobrar cosas átomo por átomo. Esto no es un intento de violar alguna ley; es algo que en principio se puede hacer, pero en la práctica no se ha hecho porque somos demasiado grandes", decía Feynman en 1959. Fue hasta principios de la década de los 80's con la invención de los microscopios de tunelaje y de fuerza atómica que comenzó a vislumbrarse la posibilidad no solamente de ver, sino de verdaderamente manipular los átomos.

2. Ley de Moore y la evolución de la microelectrónica

Hoy por hoy, en nuestra rutina de todos los días difícilmente nos detenemos a pensar en que estamos constantemente en contacto con dispositivos y equipos desarrollados por la microelectrónica. Desde el momento en que despertamos hasta la hora de dormir interactuamos, de una u otra forma, unas 20-30 veces con desarrollos debidos a la microelectrónica. Incluso mientras dormimos nuestra interacción con la microelectrónica continúa con la calefacción, alarmas, lámparas, etc. Sin prestar mayor atención, llegamos incluso a considerar de manera casi natural como parte del entorno a muchos de los avances tecnológicos que nos rodean. Viéndolo de esta manera parecería que la gente aprecia completamente el impacto positivo que la microelectrónica ha tenido y puede tener en nuestra vida diaria. Tradicionalmente, la electrónica se asocia a la radio, a la televisión, y quizás ahora más a las computadoras y a los aparatos de telecomunicación en general. ¿Pero cuánta gente asocia a la microelectrónica con el transporte, el ocio, la medicina y la biología? Las aplicaciones tecnológicas en estas áreas son realmente impensables hoy en día sin la microelectrónica. Los hospitales e instituciones de salud utilizan rutinariamente equipos avanzados para realizar estudios y diagnósticos más rápidos, más exactos y menos invasivos para los pacientes. Conducir un coche es casi como sentarse detrás de una computadora; los juegos de niños ya no son los mismos que antes. Las industrias de todos los sectores incorporan nuevas tecnologías para efectuar el control de calidad de sus productos finales, aumentar la productividad del sistema y reducir los residuos de sus procesos.

La microelectrónica es un campo totalmente multidisciplinario. Desde los primeros días la integración entre la física, la ingeniería y la ciencia de materiales fue necesaria para realizar el primer transistor. Para dar el salto a los circuitos integrados se requirió de más ingeniería y un poco más de química y de ciencia de materiales, especialmente para el desarrollo de los equipos y de las tecnologías de producción. Ahora que estamos adentrándonos en los sistemas micro y nano, es decir, aquellos sistemas inteligentes que combinan sensores, actuadores, estructuras mecánicas y electrónicas para detectar la información del ambiente y poder reaccionar a él, vemos que la química y la biología son cada vez más importantes. Al mismo tiempo, nuevos materiales y particulares fenómenos físicos desempeñan un papel importante en el potencial desarrollo de novedosos micro y nanosistemas. Como veremos más adelante, no podemos simplificar el surgimiento de la nanotecnología simplemente como el camino trazado por la miniaturización en la microelectrónica, pero nos ayudará a entender mejor dicho proceso.

El impacto de la tecnología de los microsistemas es mucho más grande de lo que podemos imaginar. Al aumentar la funcionalidad de un chip (es decir, el agregar funciones ópticas, térmicas, químicas y mecánicas a un circuito electrónico) la gama y el potencial de usos han crecido de manera exponencial. Por otra parte, las dificultades se han multiplicado también debido al fuerte carácter multidisciplinario del campo de aplicación. De hecho la microelectrónica se está incorporando a muchos sectores industriales que a su vez se están convirtiendo en campos cada vez más multidisciplinarios, tales como la biotecnología, la atención médica y las telecomunicaciones. Podríamos decir que en general nuestra calidad de vida ha mejorado con tantos y tantos desarrollos debidos a la microelectrónica, que simplifican gran parte de nuestras labores rutinarias, y que también alcanzan los ámbitos del entretenimiento, de la información y de la salud.

El desarrollo de la industria de la microelectrónica y de semiconductores hacia dispositivos más pequeños, más rápidos, más eficientes, más baratos y altamente especializados ha sido impulsado desde hace 40 años por la llamada Ley de Moore [4]. En 1965 Gordon Moore (co-fundador en 1968 de la compañía Intel) afirmó que el número de transistores por centímetro cuadrado en un circuito integrado se duplicaba cada año y que la tendencia continuaría durante las siguientes dos décadas. Más tarde, en 1975, modificó su propia afirmación y predijo que el ritmo bajaría, y que la densidad de transistores se duplicaría aproximadamente cada 18 meses. Esta progresión de crecimiento exponencial de la densidad de transistores, o sea, el duplicar la capacidad de los microprocesadores cada año y medio, es lo que se considera actualmente como la Ley de Moore. En abril de 2005 se cumplieron 40 años de la ley de Moore y la industria de la microelectrónica estima que seguirá siendo válida al menos otros 20 años.

Para todos nosotros realmente es difícil imaginar la enorme cantidad de transistores que constituyen actualmente un circuito integrado o un microprocesador de computadora. El primer circuito integrado fue inventado en 1958 en la compañía Texas Instruments y estaba constituido de un único transistor y algunos otros componentes sobre una placa de germanio de alrededor de 1 cm^2 [5]. La evolución de los circuitos integrados continuó hasta llegar a los microprocesadores de computadora y a otros dispositivos aun más complejos en los que el número de transistores por unidad de superficie es enorme. En el caso de la compañía Intel, por ejemplo, en 1978 el procesador 8086 contenía ya 29000

transistores, en 1982 el procesador 286 contenía 120000 transistores, hasta llegar al Pentium-II con 3 millones de transistores en 1993, al Pentium-III con más de 8 millones en 1997 y al Pentium-IV con 24 millones en 1999, y todo en un cuadrado de 2 cm por lado [1]. Actualmente ya existe el microprocesador "Itanium 2" de Intel que está constituido por la inimaginable cantidad de 410 millones de transistores y en el cual se espera llegar a integrar hasta 1000 millones de transistores [6].

De esta manera, la predicción del crecimiento exponencial de la densidad de transistores en los procesadores ha venido cumpliéndose de acuerdo a la ley de Moore. Todo parece indicar que la ley de Moore pasó de ser una profecía autocumplida por la industria microelectrónica a una obligación que los fabricantes de semiconductores deben de satisfacer para poder vender sus productos a precios más competitivos. Así, si en 1954 el precio de un transistor era de casi 6 dólares, actualmente su precio es del orden de una milmillonésima parte de un dólar, o sea, casi un nanodólar. Las ventas a nivel mundial en el área de semiconductores ascenderán a 250000 millones de dólares en 2006 y tan sólo en 2005 estos componentes abastecieron a nivel mundial un mercado de productos finales al consumidor de alrededor de 1.2 billones de dólares [7]. En esta carrera tecnológica, la ley de Moore constituye actualmente la motivación principal de la industria microelectrónica y de semiconductores para encontrar mejores materiales y desarrollar nuevos dispositivos electrónicos más compactos, más rápidos, más eficientes y sobretodo más baratos para llegar a un número cada vez más grande de usuarios. La supervivencia de la ley de Moore dependerá seguramente de los resultados de las investigaciones en el área de las nanociencias, que llevarán a la industria de la alta tecnología a otros caminos como la nanoelectrónica, la optoelectrónica e incluso, la bioelectrónica. Por lo tanto, todavía nos quedan muchas cosas por ver en el futuro cercano, y la única limitación tal vez sea una dimensión de nivel fundamental, como lo es el tamaño del átomo mismo.

3. Pros y contras de la nanotecnología

La ciencia y la tecnología son evidentemente entes sociales por el hecho mismo de pertenecer a la sociedad. Sin embargo, desde siempre los individuos que conforman la sociedad se han visto en la necesidad imperiosa de cuestionarse sobre los beneficios o los impactos negativos que tal o cual invento o desarrollo tecnológico pudiera tener sobre la sociedad misma. Así, los potenciales desarrollos nanotecnológicos, como toda nueva tecnología que aparece en el mercado, son obviamente susceptibles a este tipo evaluación relativa a las implicaciones sociales de su uso. Son numerosos los ejemplos de tecnologías con buena reputación de origen que luego son unánimemente rechazadas, y viceversa. En general, cuando aparece una nueva tecnología es inmediatamente exhibida para resaltar los beneficios que su aplicación pudiera aportar a la sociedad. Sin embargo, a medida que se va conociendo un poco más sobre ella misma, comienzan a aparecer sus aspectos negativos y con ellos sus más fieros detractores. Es en la época actual que los medios masivos de comunicación pueden erigirse jueces para evaluar las bondades o los perjuicios potenciales de las nuevas tecnologías. El problema principal radica en que a menudo las visiones sobre el nuevo objeto de crítica se polarizan al extremo y para el público que recibe estas opiniones es difícil crearse su propia idea para encontrar el equilibrio entre los pros y los contras.

Así ha sucedido históricamente con las aplicaciones en el ámbito de la energía nuclear, con el uso de los diversos tipos de radiaciones, y más recientemente con la aparición de los organismos genéticamente modificados, la clonación y la ingeniería genética, por mencionar sólo algunos casos.

Para ejemplificar esta ambivalencia entre una imagen positiva y la negativa, para todos nosotros es claro que algunas de las aplicaciones que ahora vemos como netamente positivas tuvieron su origen en desarrollos militares (lo que sería la cara negativa de la moneda), como son la energía nuclear, las microondas, el internet o el ancestro del teléfono celular. Vistos desde la perspectiva actual, otros ejemplos que nos pueden parecer paradójicos son los miedos que causaron inicialmente el uso de radiaciones como los rayos X o de diversos elementos radiactivos con fines curativos o de diagnóstico en el ámbito de la salud.

Antes de comenzar la discusión sobre los posibles efectos positivos y negativos de la nanotecnología tenemos que mencionar algunas de las potenciales áreas de aplicación en las que a decir de los científicos la nanotecnología tendrá mayor impacto [8]:

- a) Almacenamiento, producción y conversión de energía.
- b) Aumento en la productividad agrícola; detección y control de plagas.
- c) Tratamiento de aguas residuales y soluciones a la contaminación atmosférica.
- d) Diagnóstico, monitoreo y cura de enfermedades; sistemas de administración de fármacos.
- e) Procesamiento de alimentos y otros bienes de consumo.
- f) Nuevos materiales para diversas industrias (textil, automotriz, construcción, pinturas, deportes).
- g) Desarrollo en general de la nanoelectrónica, la optoelectrónica y la bioelectrónica.

Descritas en detalle, muchas de las aplicaciones que aun están por venir podrían parecer más a ciencia ficción que a otra cosa. Sin embargo, en el área de la salud, ya se habla de nanodoctores, nanorrobots o más bien de nanocápsulas que viajarán a través de cuerpo humano con la finalidad de detectar enfermedades, virus, tumores o alguna otra anomalía fisico-química y poder administrar en ese momento, de manera selectiva y específica, los medicamentos necesarios para solucionar el problema. A largo plazo, esto podría llevarnos a pensar que muchas de las enfermedades que aquejan a los seres humanos serán controladas o completamente erradicadas. También se podría eliminar la necesidad de cirugía y detener los procesos de envejecimiento. Todo esto constituye un gran mercado económico para las grandes compañías farmacéuticas de los países desarrollados.

Por otro lado, en el área de la computación, la información y las telecomunicaciones ya estamos tan acostumbrados a la aparición periódica en el mercado de nuevos desarrollos tecnológicos, que ya no nos asombra la gran capacidad de almacenamiento de los discos duros o la memoria, el aumento en la velocidad de procesamiento debido no solamente a la miniaturización, sino también por la integración de componentes ópticos o el descubrimiento de nuevos materiales.

Al final de cuentas tendremos máquinas y dispositivos electrónicos más rápidos, más potentes, más compactos, más baratos y que se desarrollaron usando menos materiales y menor energía. Por otro lado, en el caso de la industria de la manufactura, al volverse los componentes más pequeños, los métodos de la robótica convencional no servirán y por lo tanto el autoensamblado ofrece una nueva manera de acercarnos al problema del ensamblado de estructuras con dimensiones nanométricas.

Aquí, la mención del autoensamblado nos hace pensar por ejemplo en el ADN. Se trata de una molécula bien conocida por la biología, forma estructuras predecibles y se autoensambla de manera programada a partir de pares de secuencias de base. Esto ha llevado a pensar en integrar al ADN en los componentes usados por la actual industria microelectrónica para conectar nanocircuitos, incluyendo nanoalambres y nanopartículas, aprovechando la selectividad del DNA, ya que puede adherirse al área superficial de las nanopartículas para construir arreglos o estructuras ordenadas. Nuevamente este sería un gran paso hacia adelante en el desarrollo de la micro y nanoelectrónica hacia la bioelectrónica. Sin embargo, esta posibilidad de encontrar soluciones para conectar transistores también ha llevado a pensar escenarios negativos, en los cuales diminutos robots, invisibles y descontrolados, se autoreplicarían hasta el punto de poner en peligro a la humanidad entera.

Eric Drexler en su libro *"El surgimiento de las máquinas de creación"* [9] fue el primero en dar a conocer al gran público una visión global sobre esta nueva tecnología molecular. Ahí describe no solamente la capacidad y enorme potencial de la nanotecnología, sino también el impacto que pudiera tener en los ámbitos médico, ambiental y económico, además de los posibles riesgos y miedos asociados. En este tenor, aquí podemos mencionar también las investigaciones que llevan a cabo grandes corporaciones como Monsanto en el área de la ingeniería genética para modificar organismos como semillas o plantas para lograr en principio una mayor productividad en el campo [10]. Sin embargo, aun faltan muchos estudios para determinar cual sería el impacto que tendrían los alimentos producidos a partir de estos organismos genéticamente modificados en la salud del consumidor o en el medio ambiente a corto y a largo plazo [10].

Estas visiones catastróficas sobre las posibles implicaciones negativas de los desarrollos de la nanotecnología no han detenido las cuantiosas inversiones económicas destinadas a la investigación en nanociencia y nanotecnología por parte de grandes compañías multinacionales de todos los sectores industriales y organismos públicos de los países desarrollados [7]. Desgraciadamente, también se destinan grandes cantidades de dinero para estudiar las potenciales aplicaciones militares de la nanotecnología. Con horror escuchamos hablar de armas biológicas/químicas computarizadas, dispositivos inteligentes suficientemente pequeños para no ser descubiertos, armas "inteligentes" para matar sólo a soldados enemigos y no a personas inocentes, etc.

Como hemos podido constatar, la nanotecnología tiene un carácter realmente multidisciplinario, con muchos ámbitos posibles de aplicación para sus desarrollos (salud, comunicaciones, ecología, alimentos, militar, etc.). Entonces, si queremos evaluar su impacto en tan diversas actividades humanas, resulta que no podemos generalizar y es imposible utilizar la simple dicotomía buena-mala para calificarla. Nos damos cuenta que todos los posibles usos no deseados y los riesgos

potenciales de la nanotecnología están directamente relacionados con los grupos o sectores que destinan los recursos para tal o cual investigación y finalmente son quienes toman las decisiones [11]. Es obvio que las grandes corporaciones buscan recuperar su inversión y multiplicarla en el menor tiempo posible, independientemente de los posibles efectos negativos que sus desarrollos (medicamentos, alimentos, materiales, etc.) pudieran tener sobre la salud del consumidor o sobre el medio ambiente, sobretodo si no existen los estudios necesarios para evaluar dicho impacto a corto o mediano plazo. El hecho es que el consumidor termina siendo una especie de rehén de las grandes compañías que deciden sobre su salud, alimentación, hábitos de ocio o consumo en general. Por más que nos parezcan terroríficas y con un cierto grado de cinismo, lo mismo sucede con las aplicaciones militares en las que el bando que desarrolla una tecnología en particular no durará en utilizarla en su propio beneficio para dominar a su oponente. Así, en cuestión de desarrollos tecnológicos, todo pareciera depender de quién financia y para qué fines.

Llegamos entonces a la gran pregunta que todos debemos de plantearnos, y sobretodo los científicos que desarrollan innovaciones nanotecnológicas. ¿Son realmente neutrales en sí mismas las investigaciones científicas y tecnológicas o responden a ciertos intereses? Como ya lo mencionamos antes, muchas de las tecnologías son financiadas por las grandes corporaciones que buscan necesariamente recuperar su inversión en el menor plazo posible. De esta forma, se deben en general a quienes las financian y deben responder a sus intereses. Por lo tanto, la situación pareciera ser así de simple: las innovaciones tecnológicas no se dan por sí solas, ni tampoco se vuelven posteriormente buenas o malas dependiendo de quien las use.

Sin embargo, debido al vertiginoso desarrollo de la actividad científica y para moderar un poco la gran responsabilidad que tienen los científicos ante la sociedad, podemos mencionar que algunas veces no les es posible vislumbrar en el corto plazo potenciales repercusiones o aplicaciones negativas que pudieran tener en el futuro sus estudios, especialmente cuando se trata de investigaciones en ciencia básica o fundamental.

A pesar de esto, debemos tener la clara convicción de que no existe una fatalidad o lógica inexorable en la investigación tecnología y de que ésta debe ser controlada por el hombre, aun existiendo intereses tan simples como los del libre mercado capitalista. A la conclusión a la que debemos llegar es que las nanociencias y la nanotecnología están necesariamente condicionadas por valores, es decir, no podemos pensar utópicamente que son neutrales en sí mismas y que no responden a ningún tipo de intereses.

Es obvio que esto sucede particularmente con la investigación que se realiza en los países industrializados, pero los países menos desarrollados muchas veces siguen las mismas estrategias de los primeros. Lo ideal sería que los países menos desarrollados pudieran generar un liderazgo científico que respondiera a sus expectativas y buscara soluciones a las necesidades específicas de su población. Este sería realmente el sueño dorado que permitiría llevar desarrollo económico y bienestar social a partir de la investigación científica y sus potenciales aplicaciones tecnológicas.

Partiendo de la noción sobre la no neutralidad de la investigación científico-tecnológica y de que necesariamente está condicionada por valores de sus principales actores, entonces sus implicaciones sociales deberían ser principalmente aquellas que maximizaran el beneficio para toda la humanidad, sin ventajas o beneficios particulares para los países más desarrollados, que generalmente ejercen una dependencia tecnológica sobre los demás. Esta búsqueda del equilibrio tecnológico entre los países industrializados y no desarrollados nos llevaría a la democratización de la ciencia y el conocimiento, lo cual evidentemente acarrearía desarrollo económico y bienestar social para todos por igual.

Aquí podemos mencionar el caso único del *internet* que, aun sin haberse democratizado lo suficiente como para ser utilizado de manera rutinaria por la mayoría de la población mundial, ha permitido acceder a información y conocimiento específicos que de otra manera estaban vedados aun para personas con un cierto nivel de preparación. Así, a medida que la actividad científica genera nuevos conocimientos, también contribuye a la formación de recursos humanos especializados y a la diseminación de la información en general, todo lo cual es indispensable para la construcción de una sociedad más democrática basada en el conocimiento. Por lo tanto, aun si está guiada y condicionada por una serie de valores asociados al científico mismo, la investigación tecnológica deberá ser más valorada en el caso de que tenga como fin el desarrollo económico y bienestar social de la mayoría de la gente.

Conclusiones

La nanotecnología es una ciencia multidisciplinaria que involucra a la Biología, la Química, la Ciencia de Materiales y la Ingeniería, con la Física como su eje fundamental, y nos llevará a potenciales aplicaciones tecnológicas. Sin lugar a dudas, la nanotecnología será la ciencia del siglo XXI y nos traerá innumerables desarrollos en la industria electrónica y de la información, y en general con importantes aplicaciones médicas, energéticas, industriales y medioambientales. Estas investigaciones requieren una inversión económica muy elevada en ciencia y tecnología que los países en desarrollo tal vez no sean capaces de afrontar. Si así fuera, estaríamos rezagándonos una vez más de los grandes avances tecnológicos, como sucedió en el caso de la industria microelectrónica y de semiconductores, lo que a la larga nos trajo dependencia económica y tecnológica de los países industrializados.

Esta dependencia sería uno más de los riesgos colaterales que la nanotecnología traería a los países menos desarrollados si no se toman a tiempo las decisiones pertinentes para lograr una mayor inversión en ciencia y tecnología para formar personal altamente calificado, diseminar el conocimiento y generalizar el bienestar social.

Aun considerando los efectos positivos o negativos de algunos desarrollos nanotecnológicos debidos a la inherente no neutralidad de la investigación científico-tecnológica, portadora de valores e intereses sociales a través de los propios científicos, podemos decir que la nanotecnología está abriendo el camino a la próxima revolución tecnológica. Esperemos que todos los beneficios prometidos estén al alcance de la mayoría de la población tanto de los países ricos como de los pobres, para no aumentar aun más el abismo económico, social y cultural entre ambos esquemas de desarrollo.

Se requiere una democratización del conocimiento para que pueda permear a todos los niveles de la sociedad, con lo cual se lograría a la larga una mayor participación social para la resolución de controversias sobre los alcances de la investigación científica. Finalmente, sólo nos resta decir que el impacto social, cultural y económico que tendrá la nanotecnología en nuestra vida diaria es apenas imaginable, ya que al igual que el automóvil y la computadora, la nanotecnología bien puede cambiar al mundo.

Bibliografía

- [1] CHEANG WONG, Juan Carlos, "Ley de Moore, nanotecnología y nanociencias: Síntesis y modificación de nanopartículas mediante la implantación de iones". *Revista Digital Universitaria* (en línea)., Vol. 6, No. 7, 10 de julio 2005. Disponible en Internet: <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num7/art65/int65.htm>
- [2] http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/aplicaciones_nanotecnologia/nanotecnologia_aplicaciones.htm
- [3] FEYNMAN, Richard, "There is Plenty of Room at the Bottom", *Engineering and Science*, California Institute of Technology, Pasadena, 1960. <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>
- [4] <http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm>
- [5] <http://www.ti.com/corp/docs/kilbyctr/jackbuilt.shtml>
- [6] http://www.intel.com/technology/silicon/new_45nm_silicon.htm
- [7] http://www.forfas.ie/events/consultation/nanofireland0510/Nanofireland_NanoElectronics_consultation_0510_forfas.pdf
- [8] <http://nanobusiness.org/info/aboutNano/applications>
- [9] DREXLER, Eric, "Engines of Creation: the coming era of nanotechnology", Anchor Press/Doubleday, New York, 1986. <http://www.e-drexler.com/index.html>
- [10] http://progolfo.biciverde.org/article.php3?id_article=102
- [11] ROCCO, M.C. and BAINBRIDGE, W.S., "Societal implications of nanoscience and nanotechnology: Maximizing human benefit", *Journal of Nanoparticle Research* 7, 2005, p. 1-13.

JUAN CARLOS CHEANG WONG

cheang@fisica.unam.mx

Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México

Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria.

México, D.F., 04510, México