

Las nanotecnologías en contexto¹

The Nanotechnologies on Context

Guillermo Foladori²

Universidad Autónoma de Zacatecas

Resumen: Se exponen las fortalezas y debilidades de las nanotecnologías como revolución tecnológica. La fortaleza de las nanotecnologías reside en tres aspectos. Primero, en la posibilidad de hacer más eficientes los productos que hoy en día conocemos. La segunda fortaleza está en la posibilidad de hacer productos multifuncionales. La tercera fortaleza consiste en reducir y sustituir significativamente la cantidad de materia prima en muchas ramas industriales. Y, quien sabe, mejorar el medio ambiente. Pero estos cambios no se dan sin efectos enlazados, colaterales, imprevisibles. Y, aquí residen las debilidades de las nanotecnologías. También en este caso podemos reducir a tres las principales debilidades. Primero, el hecho de que la materia trabajada en nanoescala tiene propiedades toxicológicas desconocidas. En un segundo lugar está la cuestión de quién se verá afectado en cuanto a la salud, por esas tecnologías. En un tercer lugar anotamos la cuestión del empleo y la división social del trabajo, tanto a nivel regional, nacional e internacional.

Palabras clave: nanotecnología, ciencia y tecnología, revolución tecnológica

¹ Versión corregida de la Conferencia pública en la Sala Maggiolo de la Universidad de la República. Montevideo, Uruguay, 20 de abril de 2009. Proyecto ANII de vinculación con científicos y/o tecnólogos uruguayos residentes en el exterior – FLACSO-Uruguay.

² Universidad Autónoma de Zacatecas, México. Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad. www.estudiosdeldesarrollo.net/relans

Abstract: The strength and weakness of nanotechnologies are considered. The strength of nanotechnologies lay in three main aspects. First, in the possibility of building products more efficient than the ones we know nowadays. Second, in the possibility of making multifunctional products. Third, in reducing and substituting the amount of raw material in several industrial sectors; and even meliorating the environment. But changes do not came without unintended consequences. And there is where the weaknesses of nanotechnology appear. Also in this case three main aspects should be considered. Firstly, the fact that matter when manipulated in nanoscale has unknown toxicological properties. Secondly, is the question of whose health will be affected by these technologies. Thirdly, is the fact that employment and division of labor will change significantly, at regional, national and international scale.

Key words: nanotechnology, science and technology, technological revolution

1. La peculiaridad de la situación actual

El mundo está atravesando una situación particular: una crisis mundial de una magnitud nunca vista antes, tanto por su expansión como por su profundidad. Nadie puede saber cuánto va a durar, porque no depende de políticas económicas, sino de la suma de millones de movimientos imprevisibles en y del mercado. Una crisis que ha pegado primero y más contundentemente en los países desarrollados, pero que no puede evitar expandirse a la periferia. Volveré sobre la crisis económica mundial más adelante.

Desde el punto de vista productivo, esta crisis coincide con la mayor revolución tecnológica de los últimos siglos: la revolución de las nanotecnologías. Ya existe el suficiente conocimiento científico y aplicaciones prácticas como para vislumbrar que las nanotecnologías serán aplicadas a las más diversas ramas de la actividad económica, y en todos los puntos del planeta casi simultáneamente.

¿Dónde reside la fortaleza de las nanotecnologías? En 3 cosas. Primero, en la posibilidad de hacer más eficientes los productos que hoy en día conocemos. Un motor que no usa aceite y tiene una vida útil más prolongada. Un tejido que desprende perfume, no se arruga, no se ensucia. Un vidrio que se autolimpia. Un nanochip que analiza, inclusive dentro del organismo, biomarcadores en tejidos, en líquidos, en gases, monitoreando en tiempo real. Una carrocería de automóvil que conserva la memoria de su forma original y, frente a un choque, vuelve a recuperarla con toques eléctricos. Un envase de frutas y verduras que alarga la vida de su contenido en los estantes de supermercados, alertando al cliente con colores si se ha malogrado. Una crema solar que actúa en las capas más profundas de la piel, protegiendo de la radiación ultravioleta. Un captador y almacenador de energía solar en la propia pintura de las casas o en los vidrios. Filtros de agua simples y transportables, que permiten potabilizar prácticamente cualquier reducto de agua. Son todos ejemplos que ya existen, muchos de ellos en el mercado, de las nanotecnologías.

La segunda fortaleza está en la posibilidad de hacer productos multifuncionales. Una pintura de tuberías industriales que conserve el calor interno del líquido o el gas en hasta un 60%, y que, al mismo tiempo, protege contra la corrosión, cumple la función de protección contra las inclemencias del tiempo pero de calefactor simultáneamente. Un alimento, como un simple pedazo de pan, que contenga vitaminas que sólo serán disueltas por el organismo si éste las necesita cumple la función alimenticia y de suplemento vitamínico simultáneamente. Una camisa, un pantalón, que protege contra bacterias que pueden surgir en un accidente cumple la función de vestimenta y de primeros auxilios simultáneamente. Una pared que absorbe el impacto de balas como una goma que se las traga y recupera la forma funciona como estructura de vivienda, y seguridad frente a la violencia, simultáneamente. Un zapato con nanopartículas de plata que evite la infección en enfermos de diabetes, es un zapato y un medicamento de manera simultánea.

La tercera fortaleza consiste en reducir y sustituir significativamente la cantidad de materia prima en muchas ramas industriales. Y, quien sabe, mejorar el medio ambiente. Cuando con nanocápsulas hacemos llegar a las células u órganos afectados la dosis de fármaco necesario se está evitando un inmenso desperdicio de materia prima que de otra forma el cuerpo desecha. Una llanta de automóvil con nanopartículas de negro de carbón puede hacerla durar más de 100 mil kilómetros en lugar de 70, reduciendo el consumo del caucho y sintéticos asociados. La expansión de los libros digitales, que ya están a la venta y en un formato manual, como el Kindle de Amazon, y que pueden almacenar miles de páginas, podrá sustituir y reducir el consumo de papel y, consecuentemente, de árboles. Si las lámparas conocidas como de bajo consumo reducen en un 70% la energía necesaria brindando la misma potencia de luz, ya hay ejemplos de laboratorio que con procesos nanotecnológicos generan muchos más watts con el mismo y menor consumo. Si se puede sustituir ventajosamente la lana o el algodón, o el yute, o el lino en la industria textil, con fibras que reproduzcan la calidad y durabilidad e inclusive la potencia, estaremos evitando tener que producir millones de cabezas de ganado o millones de hectáreas de agricultura, y aquellas cosas ya se ha hecho en laboratorio. Si se logra sustituir el sabor y cualidades del café, del té, del cacao, los países exportadores ya no necesitarán exportar para que los países ricos consuman sus bebidas estimulantes. Todo esto es, también, un hecho potencial y en algunos casos presente en el mercado de las nanotecnologías. Si bacterias creadas o adaptadas por medio de bionanotecnología consiguen consumir y reducir contaminantes minerales en lagos, ríos y mares, estamos frente a la posibilidad de reutilizar materiales que habían sido desechados por décadas o siglos. Si la nanotecnología permite adaptar plantas para extraer y luego procesar de manera económicamente accesible las micro y nanopartículas de oro y plata que existen depositadas en los jales de las minas abandonadas, estaremos utilizando materia prima abandonada por siglos por la incapacidad tecnológica y económica precedente. Si robots con nanosensores pueden explorar las mayores profundidades de los océanos captando, procesando y analizando el subsuelo, estaremos en condiciones de explotar nuevos yacimientos minerales. Si brocas de nanotubos de carbono permiten la perforación de pozos petroleros en suelos profundos y duros, podrán surgir nuevos yacimientos al mercado. Si filtros nanotecnológicos permiten de manera barata separar el petróleo de yacimientos con arena y pantanosos, otros países ahora no productores de petróleo se convertirán en autosuficientes y cambiará radicalmente la división internacional del trabajo. Si con litio se puede almacenar energía suficiente para que los automóviles eléctricos tengan una autonomía equiparable a los de gasolina, y si esto se puede lograr en tamaños de baterías diminutos, como ya ocurre con los teléfonos blackberry y IPods, nuevas y más eficientes materias primas se incorporarán al mercado, y otras viejas serán desplazadas. Algunos países se verán favorecidos, otros perjudicados.

Pero estos cambios no se dan sin efectos enlazados, colaterales, imprevisibles. Y, aquí residen las debilidades de las nanotecnologías. También en este caso podemos reducir a 3 las principales debilidades. Primero, aunque no en orden jerárquico, el hecho de que la materia trabajada en nanoescala tiene propiedades toxicológicas desconocidas. Se habla de la posibilidad de utilizar nanotubos de carbono o buckyballs de carbono para fijarlos a

las células cancerígenas y matarlas una a una y sin efectos colaterales, con lo cual el cáncer se convertiría en una enfermedad plenamente tratable, pero Polland y colaboradores en *Nature Nanotechnology* (Polland, *et al*, 2008) descubrieron que los nanotubos de carbono son reconocidos en la cavidad abdominal de los ratones como si fuesen fibras de asbesto o amianto, produciendo cáncer. También Takagi y colaboradores en *The Journal of Toxicological Sciences* (Takagi *et al*, 2008) muestran que los nanotubos de carbono producen mesotelioma (cáncer de pulmón) en ratones. Inclusive los nanotubos de carbono de una pared que son mucho más perfectos, homogéneos y puros que los de múltiples paredes, han demostrado su toxicidad, y Chou y colaboradores en *Nano Letters* han mostrado que estos nanotubos producen granulomas en los pulmones de los ratones investigados (Chou *et al*, 2008). Inclusive protozoarios que ingieren nanotubos de carbono se ven limitados en su movilidad, se mueren o apolotonan, como han escrito Ghafari y colaboradores en la revista *Nature Nanotechnology* (Ghafari, *et al*, 2008). En 2009, Nygaard y colaboradores han publicado un artículo donde muestran que a medida que disminuye el tamaño de los nanotubos de carbono, de nanopartículas de carbón negro y otros materiales aumentan las respuestas alérgicas (Nygaard *et al*, 2009). A estas críticas los científicos posiblemente respondan que los nanotubos van incorporados a una matriz, van amarrados y no sueltos, lo cual hace que la posibilidad de que sean inhalados, por ejemplo, se reduce radicalmente. Aunque esto es cierto, el hecho es que los nanotubos son utilizados en muchas industrias. Baterías de celulares pueden contener nanotubos de carbono al igual que algunos textiles deportivos. Y, en estos casos, nunca se sabe dónde termina el ciclo de vida de los productos, y qué sucede una vez que se convierten en desperdicio. Como los nanotubos no se desintegran si no es a una temperatura superior a los 850 grados centígrados, la quema de textiles o baterías que los contengan en basureros podría liberarlos y, entonces, ser inhalados o introducirse en la cadena trófica. Pero también pueden desprenderse de los textiles cuando las prendas de vestir que los soportan se usan, y esto puede implicar el contacto directo con la piel y la penetración. Todos estas posibilidades las analiza Köhler y colaboradores en un número del *Journal of Cleaner Production* del 2008 (Kohler *et al*, 2008). Y Tieleman y colaboradores, en *Nature Nanotechnology*, indican que las Buckyball, unas estructuras de nanopartículas muy utilizadas en medicina, se disuelven en las membranas celulares, atraviesan las células, se reestructuran y las dañan (Wong-Ekkabut, *et al*, 2008).

Roberts y colaboradores, en un número de 2007 de *Environmental Science & Technology* han señalado que los nanotubos de carbono que se envuelven en lípidos para llegar más directa y eficientemente a las células que necesitan los fármacos que los nanotubos portan, son digeridos por las pulgas de agua y su tracto digestivo se ve bloqueado y mueren (Roberts *et al*, 2007). Y Leroueil y colaboradores, en un número de *Nano Letters* de 2008, muestran que varias nanopartículas orgánicas e inorgánicas producen desequilibrios (Leroueil *et al*, 2008). El dióxido de titanio, uno de los caballitos de batalla, junto con el óxido de zinc, de la industria cosmética, ha demostrado dañar las agallas y hacer perder el sentido a los peces, según investigaciones reportadas por Federici y colaboradores en la revista *Aquatic Toxicology* en 2007 (Federici *et al*, 2007). Y, también, en un número del *Journal of Health Sciences* de 2009, Takeda y colaboradores han mostrado que el dióxido de titanio produce

daños intergeneracionales (Takeda *et al*, 2009); las nanopartículas que recibe la rata madre atraviesan libremente la barrera madre-feto, ingresa a los embriones y produce en los embriones machos una reducción en la producción de espermatozoides. Y, en esta cuestión de afecciones al material genético, también Yang y colaboradores, en febrero de 2009, escribían en la edición en línea de *Nanotechnology* que nanopartículas de plata pueden interactuar con el material genético modificándolo y afectando la replicabilidad del mismo (Yang *et al*, 2009). Por lo demás, Tinkle y colaboradores ya en 2003 habían escrito sobre la penetración directa en la piel de partículas de 1000 nanómetros de zinc y dióxido de titanio, o sea tamaños mucho mayores a las nanopartículas que aparecen en los cosméticos hoy en día (Tinkle *et al*, 2003). También en 2009 Sharma y colaboradores (Sharma *et al*, 2009) escribiendo en *Toxicology Letters*, reportaron que nanopartículas de óxido de zinc, ampliamente usadas como bloqueador solar en cosméticos, producen, en concentraciones aún menores que las que normalmente se utilizan en los cosméticos, daños en el ADN de las células humanas epidérmicas en que fueron probadas, y también producen stress oxidante que es responsable por la producción de radicales libres implicados en cáncer de piel. También sobre el óxido de zinc, Deng y colaboradores, en un número de *Nanotechnology* del 2009 afirman que nanopartículas de este metal han dañado y matado células tronco del cerebro de sus ratones de laboratorio (Deng *et al*, 2009).

En los nanomateriales la toxicidad no se manifiesta como resultado exclusivo de cantidad y producto. También es importante la masa concentrada de material, la solubilidad, el área de superficie, la durabilidad y el tamaño de las nanopartículas (Maynard *et al*, 2006). Es sabido, además, que las nanopartículas pueden atravesar células, viajar por el sistema sanguíneo y linfático, e inclusive ingresar al cerebro por los nervios olfativos (Oberdorster *et al*, 2005), así como atravesar la barrera biológica entre madre y feto (Howard, 2004).

Se requieren de metodologías nuevas de evaluación y muchas veces de costos y tiempos de evaluación que se enfrentan a las necesidades del capital de recuperar sus inversiones y reproducir sus ganancias. Como escribían Choi y colaboradores en febrero del 2009 sobre el impacto de los costos de toxicidad en las regulaciones de la nanotecnología, y estimando para Estados Unidos, se necesitarían entre 250 y 1200 millones de dólares y de 34 a 53 años para poder evaluar la toxicidad de los nanomateriales que se están utilizando en laboratorio y que ya están en el mercado (Choi *et al*, 2009). Y, Hatice Şengül y colegas, de la Universidad de Illinois en Chicago, reportaban en 2008 que la huella ecológica de los nanomateriales puede ser mucho mayor que la correspondiente en los materiales en escala mayor; y Vikas Khanna y colaboradores en la Ohio State University encontraron que los impactos pueden llegar a ser 100 veces mayores por unidad de peso que en tamaño mayor, dados los requerimientos técnicos de producción (ScienceDaily, 2008).

El problema de la toxicidad no se reduce a la salud humana, también afecta al medio ambiente, donde la acumulación de nanopartículas, aunque sean las benignas para el ser humano, pueden, en su concentración,

causar estragos en los ecosistemas y en las cadenas tróficas, lo cual obliga a la necesidad de un análisis del ciclo de vida de las nanopartículas y no solamente de su función en cuanto al producto específico que se investiga, como es normalmente exigido a las empresas.

En un segundo lugar sobre las debilidades de las nanotecnologías está la cuestión de quién se verá afectado en cuanto a la salud, por esas tecnologías. Aquí hay, sin lugar a dudas, un común acuerdo entre los diferentes analistas. La cadena se establece así (FramingNano Project, 2009): los primeros que se enfrentan a riesgos a la salud son aquellos que sintetizan las nanopartículas y nanoestructuras; esto es, quienes trabajan en los laboratorios que fabrican estas partículas. Es una cuestión de salud ocupacional, y los trabajadores pueden recibir en su organismo nanopartículas por vía de la inhalación, o directamente a través de la piel. Pueden inclusive ingresar al organismo por ingestión directa, — aunque esto es menos probable — sea por tragar mucosidades que se forman de la inhalación, lamer heridas u otros accidentes. Esto exige condiciones de seguridad y limpieza extremas en los laboratorios que fabrican estos productos. No estamos frente a materias primas que se puedan realizar en el garaje de la casa, al estilo Bill Gates en su origen.

Luego viene la producción de productos de consumo a los cuales se le incorporan nanopartículas o nanoestructuras como materias primas para darle a los productos finales mayores virtudes, funciones, durabilidad u otra característica que ofrezca una ventaja mercantil. Aquí crece significativamente el riesgo ocupacional, tanto porque se trata ahora de miles de trabajadores industriales en las más diversas ramas de la actividad económica, como porque hay una menor experiencia sobre riesgo de intoxicación en estas industrias en relación con las del nivel anterior, que eran básicamente industrias químicas. Y hay informes que muestran que las industrias subcontratadas tienen menores resguardos de seguridad frente a riesgos tóxicos. Juntos, el primer nivel de empleados de laboratorios que producen nano-materias primas, y el segundo nivel de empleados y obreros que incorporan nanocomponentes a productos finales, se calcula que deben haber, en todo el mundo, alrededor de 2 millones. El tercer nivel lo constituyen los consumidores de productos con nanopartículas. Aquí ya se trata de la población en su conjunto, que, dependiendo del producto, está sujeta a riesgo de intoxicación por la vía de la inhalación, por el contacto directo con la piel, o por la ingestión directa.

Faltaría agregar que los desperdicios, accidentes, escapes involuntarios, productos finales que se desechan una vez que acaba el ciclo de vida útil conduce a que las nanopartículas ingresen al medio ambiente, pudiendo causar toxicidad en los ecosistemas y cadenas tróficas y retroalimentando la toxicidad en el ser humano una vez que las nanopartículas son acumuladas en espacios o seres vivos en particular.

Visto este esquema piramidal de riesgo, no resulta sorprendente que las organizaciones ambientalistas y de defensa de los consumidores, junto con sindicatos y uniones de sindicatos se hayan manifestado por la moratoria de la comercialización de productos con nanocomponentes hasta tanto no existan estudios de toxicología

adecuados y aplicados a los diferentes productos. Mientras que, por otro lado, las asociaciones de industrias, de comercio, y los gobiernos a la zaga de aquellas se han manifestado por mayor investigación, dejando que el mercado camine más rápido que la investigación en riesgos, para garantizar las tasas de retorno que el capital invertido en la investigación y desarrollo de las nanotecnologías exige.

En un tercer lugar de las debilidades de las nanotecnologías anotamos la cuestión del empleo y la división social del trabajo, tanto a nivel regional, nacional e internacional. Con los ejemplos que dimos en un comienzo queda claro que las nanotecnologías, como una nueva revolución industrial que se está imponiendo, van de la mano con una nueva división social del trabajo. A diferencia de los modernos textos de economía que comienzan hablando de la oferta y la demanda con las miras fijadas en los negocios, los clásicos y padres de la teoría económica, como Adam Smith, comenzaron viendo a la sociedad en su conjunto, y poniendo las miras en la nueva división social del trabajo que la revolución industrial de entonces estaba creando. Ahora estamos frente a la misma cuestión. Muchas ramas de la economía se verán reducidas o suprimidas. El ETC group, en un documento publicado en 2007, estudia los casos del caucho, el platino y el cobre, mostrando que ya existen procedimientos nanotecnológicos que pueden reducir significativamente el consumo de estas materias primas (ETC group, 2005). Las llantas de autos, que es el principal mercado del caucho natural, pueden ser mejoradas reduciendo su desgaste con *Nanoprene*, un producto de la empresa LANXESS y, consecuentemente, reduciendo el caucho, su materia prima básica. Los nanotubos de carbono pueden llegar a ser fuertes competidores del cobre, reduciendo también su demanda, y el platino puede ser sustituido como catalizador en las baterías. Algo semejante podría suceder con las fibras textiles de origen natural o con bebidas como el café, el té, el cacao. Esto es, en primera instancia, una cuestión de comercio internacional, de rediseño de la división internacional del trabajo, de cambios en la competitividad internacional. Es, también un problema de empleo, de fuentes de empleo que se reducirán y otras que se abrirán, pero las nuevas ramas de alta tecnología, como es el caso de las nanotecnologías, poca fuerza de trabajo emplean, y los efectos podrán ser devastadores para muchas sociedades y países en términos del incremento en el saldo de desempleados.

En esto, como en los riesgos, no se trata de permanecer al margen. Los productos de la nanotecnología serán producidos internamente en los países, o ingresarán por el mercado exterior. De hecho ya se puede comprar en cualquier lugar del mundo cosméticos con nanopartículas de L'Oréal, o Ipods de Apple; o computadoras con procesadores de Intel, o lavarropas de Samsung con nanopartículas de plata, o aires acondicionados de LG también con nanopartículas de plata, o Blackberries como teléfonos celulares con navegación en Internet con base de litio para almacenar energía. Y, los envoltorios con Durethan® de la Bayer para darle mayor vida útil a los alimentos, y las tuberías de Petrobrás cubiertas con Nansulate® producido por Industrial Nanotech Inc, y según contrato firmado recientemente con la empresa brasileña. Los pantalones, las camisas, las faldas, los joggings para hacer deportes tienen o tendrán NanoSphere® de Clariant and Schoeller o equivalentes de otras empresas, que evitará o

reducirá el trabajo de lavandería y, con ello, el empleo de personal. Igual puede suceder una vez que se generalicen los vidrios domésticos captadores de energía solar, una alternativa aparentemente muy importante en materia medioambiental, pero que seguramente implicará cambios sustanciales en el empleo relacionado a producción, venta, reparación y mantenimiento de sistemas de calefacción doméstica. La empresa DuPont ya produce los DuPont™ PV5200 Photovoltaic Encapsulant Sheets, que son hojas flexibles y transparentes, captadoras de energía solar que se aplican en vidrios (DuPont s/f).

Ni que decir del problema de patentes asociado a todo este tráfico de nuevas mercancías. Las patentes otorgan ganancias monopólicas a sus poseedores muchas veces durante 20 años. Por eso hay una carrera bastante sucia por patentar. Sucia porque los pleitos legales por superposición, por plagio de patentes suceden todos los días, con o sin argumentos; pero el resultado es siempre el mismo, las patentes mundiales se concentran crecientemente en un par de grandes universidades norteamericanas, que dígase de paso tienen tal inversión de fondos privados que hace del carácter público de la universidad algo más formal que real, y las grandes transnacionales de la química, de la informática, de la farmacia, de la industria aeroespacial y militar. En la lista de las primeras diez con mayor número de patentes está la Universidad de California y el MIT de los Estados Unidos, este último con un proyecto de 50 millones de dólares para investigaciones militares. Y están también transnacionales de la farmacia, muy conocidas, o la Bayer, la Philips, 3m, IBM, Gemathec y otras del área biotecnológico.

Pero para muchas empresas que pretenden trabajar con nanotecnología las patentes pueden ser una verdadera traba. Como escriben abogados expertos en estos temas como son Miller y colegas (Miller *et al*, 2005) una empresa que pretende investigar o producir dispositivos para almacenar hidrógeno en nanotubos de carbono podrá tener que pagar patente por los nanotubos que compre, por los métodos de almacenar hidrógeno en los nanotubos y por los nanotubos con el hidrógeno almacenado. Otros estudiosos han llamado a este enmarañado de patentes la “tragedia de los anticomunes”, (Heller *et al*, in Millar *et al*, 2005) haciendo una alusión inversa al trabajo de Hardin de la tragedia de los comunes donde el autor argumentaba que era la falta de propiedad privada lo que llevaba a que los espacios públicos fuesen saqueados y degradados y llamaba a la privatización de todo como solución para un mundo sustentable. Aquí, al contrario, los autores muestran que la privatización del conocimiento en nanotecnología se convierte en una barrera a la innovación, al desarrollo científicos y al progreso. En esta maraña se encuentran no sólo grandes empresas sin también se encontrarán aquellos países que por sus acuerdos comerciales internacionales tengan que pagar por el uso de patentes o pretendan patentar sus invenciones. A fines del 2008 la Consultora en Patentes Canadiense Innovation Partnership emitió un reporte donde habla de las "Blocking patents" o patentes que retrasan los avances en investigación, por ejemplo de cáncer y cultivos (Morgan, 2008).

2. Volviendo a la crisis económica mundial

La crisis de la economía mundial, que se ha hecho pública por los voceros de los países desarrollados en 2008, es una crisis de recesión. Esto significa que se ha detenido la inversión de capital porque se han reducido las ganancias. Es esta la causa más profunda de la crisis. Si hubo mucho crédito fácil, si hubo burbujas financieras en las acciones de la bolsa, si hubo movimientos repentinos de capitales de unos lugares del mundo a otros, todo eso se subsume a un hecho más profundo y clave: no se invierte capital porque no da los mismos beneficios que antes, la tasa de ganancia ha descendido, todo lo otro son reflejos de esto. Pero, la recesión económica ha retirado del mercado de capitales el capital de riesgo (*venture capital*). Este capital de riesgo es el capital que sólo invierte si hay expectativas de altas ganancias, mayores a las tasas medias que rinden las inversiones más conservadoras.

Cuando surgen nuevos negocios en el mercado, como es el de las nanotecnologías, donde las promesas son inmensas, pero también lo son los riesgos, porque se trata de productos que están entrando al mercado poco a poco, que son sustantivamente diferentes a los competidores que pretenden desplazar, y que están sujetos a oposiciones de grupos ambientalistas, a escasas regulaciones, y a veces a impactos insospechados en el mercado, como la comunicación a fines del 2008 por parte de la compañía de seguros Continental Western Insurance Group que no iba a asegurar ningún proceso o producto que contuviese nanotubos de carbono (Continental Western Insurance Group, 2008). Cuando surgen estos nuevos negocios en el mercado, como decía, necesitan, a menos que se trate de las grandes transnacionales, de ese capital de riesgo que, aunque caro, les permite a los innovadores presentarse en las tablas del mercado como un ganador. Sin el capital de riesgo, sin el *venture capital*, las pequeñas empresas innovadoras se ven imposibilitadas de proyectar sus innovaciones como productos en el mercado. Pero es este capital de riesgo quien se ha retirado en los últimos meses de forma contundente del mercado, según los analistas (Harper, 2009; Petratos, s/f). Han quedado las grandes transnacionales, lo cual hace previsible que la concentración de las nanotecnologías se agudice como consecuencia del momento específico de crisis por el cual estamos atravesando. Así, la crisis tendrá un doble efecto sobre las nanotecnologías. Por un lado, concentrará las patentes e investigaciones en aquellas grandes empresas capaces de navegar sobre la crisis, sea por sus volúmenes de capital invertido, sea por la presión que ejerzan sobre los gobiernos y las políticas económicas, sea por el papel que cumplan orillando a los débiles para expulsarlos del mercado. Por otro lado, la crisis devalúa el capital invertido a nivel mundial, haciendo bajar el valor de las acciones y, consecuentemente, los activos de las empresas, construyendo entonces las bases para que las ganancias sean ahora una proporción mayor del capital invertido, suban las tasas de ganancia y se comience un nuevo ciclo de repunte del capital. En su conjunto es previsible que las nanotecnologías, aunque se enlentescan en su desarrollo durante la crisis, salgan de ellas más poderosas y concentradas, con un mundo más desigual al que ya existe.

3. La regulación de las nanotecnologías

Lo que hoy se conoce como nanopartículas, y hasta hace 10 años se hablaba de partículas ultrafinas, han venido siendo investigadas por sus propiedades novedosas desde los años ochenta del siglo XX. Pero es durante esa década que los microscopios de fuerza atómica y otros han permitido scanear y ver, y luego mover átomos y moléculas de forma directa. Con ello se pudieron medir los resultados de los métodos químico-físicos de producción de nanopartículas, saber exactamente lo que se estaba produciendo, mejorar los métodos de producción, generar nuevas nanopartículas, pegarlas a diversos materiales, y crear un nuevo Far West de la ciencia y la tecnología. Los investigadores y los tecnólogos, bajo un trabajo interdisciplinario de confluencia de la química, la física, la ingeniería e informática, la biología y medicina están descubriendo juguetes nuevos a diario. Han creado nanoestructuras más duras que el diamante, han convertido al caucho en conductor eléctrico, han logrado hacer hervir el agua a 45 grados, han conseguido ponerle una banderita a cada célula cancerígena y calentar la banderita quemando sola y exclusivamente la célula cancerígena, han creado nanochips que permiten ponerle un código de barras a cada grano de arroz, y así por delante.

Los científicos se deslumbran con las novedades y se entusiasman con la posibilidad de publicar en la *Science*, en la *Nature*, en *Nanotechnology* o en cualquiera de las revistas científicas que les da mayores puntajes en su currículo académico, y también en la posibilidad de patentar algún invento. Por ello, salvo respetables excepciones, la posición mayoritaria de asociaciones de académicos o de instituciones de investigación cuando son consultadas sobre los posibles riesgos de las nanotecnologías a la salud y el medio ambiente responden diciendo que no hay suficiente información, y que se requiere más investigación. Más investigación es la razón de ser el investigador, pero cuando más investigación va de la mano con más mercado, el que gana es el mercado, lo cual no significa que gana el consumidor, sino el capitalista.

Mientras los investigadores descubren e inventan, las empresas se frotan las manos con las expectativas de ganancias multimillonarias y de extender el plazo de patentes vencidas, reverdeciéndolas como se dice en la jerga legal.

Como se sabe las drogas contra el cáncer presentan diversos efectos secundarios. Las drogas vigentes están diseñadas para matar células cancerígenas, pero también pueden matar tejidos sanos. Es el caso del producto Taxol (*Bristol Myers Squibb*), uno de los preferidos para el tratamiento de metástasis en el cáncer de mama. El mercado de este fármaco está en torno de los 3 mil millones de dólares. Las posibilidades terapéuticas y financieras de las nanotecnologías son enormes. En términos terapéuticos la misma droga manipulada en nanoescala y dirigida mediante nanocapsulas directamente a las células afectadas no tiene efectos secundarios y

puede ser administrada en dosis más poderosas. En términos financieros se trataría de un producto nuevo, posible de ser patentado y capaz de desplazar del mercado a las drogas vigentes. La competencia en nanoescala para el Taxol ya existe. Se trata del Abraxane, un producto de la *American Pharmaceutical Partners*. La droga (paclitaxel) en nanoescala es encapsulada en albúmina, que es una proteína natural y por lo cual el sistema inmunológico no la detecta, como sí ocurre en muchos casos con el Taxol. La nueva droga fue aprobada por la FDA (*Food and Drug Administration*) de los Estados Unidos en enero de 2004, y las acciones de la *American Pharmaceutical Partners* saltaron un 50% inmediatamente (Wherret & Yelovich, 2005a, 2005b).

Pero la clase capitalista no es homogénea. Está dividida en fracciones, que obedecen al lugar que ocupan en la estructura productiva. Y, según este lugar, la fuente de la ganancia cambia y los intereses políticos por la regulación también. Así, no es de sorprender que voceros del mundo de las finanzas, que es el capital especulativo por excelencia, por ejemplo en el caso de Forbes, se pronuncien por la no regulación de las nanotecnologías (Wolfe, 2005), y utilicen como ejemplo de éxito de un mercado desregulado el caso de la revolución de la Internet que, dicen, creció en un mundo desregulado lo cual ha posibilitado que hoy los Kung Sang del desierto de Kalahari puedan usar un celular al igual que el yuppie de Wall Street en Nueva York. Mas allá de la falsedad del argumento, ya que el desarrollo de la Internet fue el resultado de un proyecto del Departamento de Defensa de los Estados Unidos localizado en el Pentágono, el hecho es que al capital financiero le viene muy bien las alzas y bajas en la bolsa de valores, ya que de allí obtienen su beneficio, y más ocurren cuando no hay ningún tipo de regulación.

Esta posición por la no regulación es prácticamente exclusiva de la fracción financiera, dentro de la clase capitalista. Los industriales que producen nano-materias primas para la industria, que producen, por ejemplo, nanotubos de carbono de una o de múltiples paredes, que producen buckyballs, nanopartículas de hierro, nanopartículas de plata, nanopartículas de dióxido de titanio, de óxido de zinc, de óxido de aluminio, de dióxido de silicón, de negro de carbón, dendrímeros, nano-cerámicas y muchas otras (Royal Commission on Environmental Pollution, 2008), están preocupados con la calidad de sus productos. Como estos productos son difíciles de producir en gran escala y de forma homogénea, las empresas están preocupadas con recibir materia prima que no siempre cumpla la misma función en los productos finales, con el consecuente reclamo por parte del consumidor. Estas empresas quieren las certificaciones de sus productos, quieren que existan nomenclaturas, clasificaciones y certificaciones, y el resultado, aunque parcial, ha sido el reconocimiento por parte de la ISO con la clasificación TC 229 para las nanotecnologías (ISO, 2005), o de la ATSM, que es la International Society for Testing and Materials) con la clasificación ASTM E2456 – 06 en 2006 (ASTM, 2006). Y muchas empresas que producen estas materias primas han lanzado Códigos Voluntarios de Conducta que son declaraciones de principio de responsabilidad y buena conducta para convencer al gobierno y al consumidor que debe bastar la buena palabra de las empresas para que el producto ingrese al mercado. Así Rusnano, la corporación rusa de

nanotecnología, que, dígame de paso, ha invertido 840 millones de dólares para este año de 2009 (Rusnano, 2008) ha sacado un Nanocertificado para sus empresas asociadas. También han sacado Códigos voluntarios de Conducta la Bayer (2007), la Basf (2008), la Unión Europea (Commission of the European Communities (2008), y muchas otras.

Pero el hecho de que los Códigos de Conducta Voluntarios no sean reconocidos ni por otras fracciones de la misma clase capitalista hace dudar de su validez. Así por ejemplo el capital comercial que vende al consumidor, como las asociaciones de supermercados de Suiza, The Swiss Retailer's Organisation & Innovation Society, ha reclamado, en 2008, que las empresas no etiquetan sus productos que contienen nanocomponentes y no alertan sobre qué tipo de nanopartículas tienen, ni de los potenciales riesgos a la salud y el medio ambiente, irresponsabilizándose sobre potenciales consecuencias (The Swiss Retailer's Organisation & Innovation Society, 2008). O cuando la The Investor Environmental Health Network (IEHN, 2008) que es una institución europea que se encarga de orientar ecológicamente la política de las corporaciones publica un documento, en 2008, cuyo sólo título da una idea de lo que trata “El síndrome de las acciones tóxicas. Cómo los reportes financieros de las corporaciones evitan informar a los inversores de los riesgos de la retirada de productos del mercado y de pleitos por toxicidad”.

Por otro lado, otro sector del capital financiero, pero ligado ahora a los seguros, necesita las reglas del juego del gobierno, o sea la reglamentación de las nanotecnologías para poder asegurar productos y procesos. Y, así como había mencionado que la Continental Western ya retiró sus seguros a todas aquellas empresas que procesen o utilicen nanotubos de carbono, la Lloyd's declara en 2009 que es imperiosa la reglamentación para evitar litigios judiciales (Lloyd's, 2009).

A pesar que son las empresas que producen nanopartículas, que incorporan nanopartículas a otros procesos industriales, y que venden productos con nanocomponentes las más informadas sobre estos materiales y sus efectos potenciales o demostrados a la salud y al medio ambiente, no ha venido del sector empresarial, y de ninguna de sus fracciones en particular la alerta sobre la potencial toxicidad de estos productos. El capital se ha manifestado exclusivamente por el lado positivo, por los efectos benéficos que pueden traer las nanotecnologías al consumidor.

Tampoco han sido los gobiernos de los países donde las investigaciones son más avanzadas, como es el caso de los Estados Unidos, de Alemania, de Japón, de Rusia, de China, de la India, de Corea del Sur.

Han sido organizaciones no gubernamentales ambientalistas que han pasado a representar los intereses de los consumidores y sindicatos y uniones de sindicatos, preocupados por los posibles efectos, al ser ellos los primeros de la cadena de riesgo quienes han despertado, mundialmente, un llamado de atención que puede ser cristalizado

en la idea de que el mercado está avanzando más rápidamente que la seguridad de los productos y procesos, lo cual atenta contra el bienestar la población en general y de los trabajadores en particular. Efectivamente, en 2001 el Grupo ETC, con sede en Canadá lanzó un llamado público en la Cumbre de Sudáfrica de Desarrollo Sustentable por una moratoria a la comercialización de productos con nanotecnología (ETC group, 2003). Pocos intelectuales, con excepciones destacadas como la Academia Real de Ciencias del Reino Unido y el Príncipe Charles se hicieron eco de estas advertencias, muchos otros se refirieron al grupo ETC como activistas ludditas y contra el progreso (RS&RAE, 2004). Pero un informe detallado sobre el potencial efecto de las nanopartículas en los cosméticos, publicado en 2006 por el grupo ambientalista Amigos de la Tierra en Australia (FoE, 2006), y en 2008 sobre el riesgo a la salud y el medio ambiente de las nanotecnologías en la alimentación y agricultura se sumó a los reclamos del grupo ETC para crear un ambiente propicio a la discusión pública y para obligar a los gobiernos que venían dando largas al asunto, a poner las barbas en remojo (Miller *et al*, 2008). De manera simultánea o inmediatamente posteriores vinieron varias declaraciones significativas. A fines del 2006 el congreso latinoamericano de la UITA (La Unión Internacional de Trabajadores de la Alimentación, Agricultura y afines) emitió una declaración sobre las nanotecnologías, alertando sobre sus potenciales efectos a la salud, el medio ambiente y el empleo, misma que luego fue refrendada en el congreso mundial de la Unión Internacional de Trabajadores de la Alimentación, Agricultura y afines a principios del 2007 (UITA, 2007). Inmediatamente, en junio de 2007, salen los llamados “Principios para la supervisión de las nanotecnologías”, una declaración de principios para que los órganos de regulación públicos tomen en cuenta, elaborado y firmado por docenas de organizaciones ambientalistas del mundo entero, sindicatos, organizaciones de consumidores orgánicos, redes académicas de investigación y otros grupos (Kimbrell, 2007). Un año después, a mediados del 2008 es la Unión Europea de Trabajadores que emite una declaración de alerta y pedido de informes sobre las nanotecnologías (ETUC, 2008). También el Consejo Australiano de Sindicatos, que desde el año 2005 ha venido reclamando al congreso de su país de informes sobre las nanotecnologías, comenzó a tener una actitud más hostil reclamando la regulación de los productos con nanotecnología.

Con lo que hoy en día nos encontramos es con una gran incertidumbre, pautada por decisiones gubernamentales muchas veces contradictorias y un impulso, desde principios del 2009 hacia una urgente y más responsable regulación.

A fines de enero del 2009, el Estado de California, en los Estados Unidos, que siempre ha sido pionero en legislación ambiental, emitió una reglamentación para que todas las empresas que producen o importan nanotubos de carbono deban informar los métodos que utilizan para evaluar riesgo y seguridad laboral (California Department of Toxic Substances Control, 2009).



A mediados de febrero del 2009 el gobierno de Canadá emitió comunicados de prensa en el sentido de que iba a exigir a la brevedad un reporte obligatorio detallado sobre los nanomateriales que manipulen aquellas empresas que utilicen más de un kilo por año (RSC, 2009).

A fines de marzo del 2009 el Parlamento Europeo da pasos decisivos en la regulación de las nanotecnologías, y sorprende positivamente a los consumidores con tres reportes sucesivos. Uno llamando al retiro del mercado para el año 2012 de todos los cosméticos que contengan nanopartículas y no hayan presentado evaluaciones de riesgo a la salud, al tiempo que les exigen etiquetar los productos señalando qué contienen (Associated Press, 2009). Una intención de freno tan contundente a las poderosas compañías farmacéuticas y de cosméticos sólo puede ser explicado a partir de los años inmediatamente anteriores. Efectivamente, durante 2004 a 2006 varias transnacionales de la cosmética comenzaron a publicitar la mayor eficiencia de sus productos basados en nanotecnología, pero luego del informe de Friends of Earth Australia del 2006, donde se presentaba la amplia lista de compañías y productos en el mercado, y los potenciales riesgos, la publicidad e información desapareció de las páginas de la Web de dichas compañías, lo cual no pasó inadvertido por periodistas de nanotecnología y criticado por organizaciones ambientalistas.

También en marzo del 2009 el Parlamento Europeo sugiere el retiro de todos los productos de nano-food, o sea alimentos que contengan o estén en contacto con productos o procesos de la nanotecnología del mercado hasta tanto no se demuestre haber realizado estudios de riesgo y sean etiquetados (European Parliament, 2009). Y, el mismo mes, bajo el título periodístico de “No data no market” el Parlamento Europeo promueve la retirada de todos los productos de la nanotecnología del mercado, con el argumento de que no han pasado por los exámenes de toxicidad a la salud y el medio ambiente necesarios para estar en el mercado y ser consumidos (EurActive, 2009). Estas iniciativas tendrán que ser abordadas por los órganos legislativos y posiblemente sufran modificaciones, pero el impacto que esto está teniendo y tendrá en los diversos actores de la sociedad que se han manifestado en torno a los temas de reglamentación, en los capitales que invierten en la investigación de las nanotecnologías y en los órganos gubernamentales, locales, regionales o nacionales, o supranacionales que deben legislar y regular sobre nanotecnología despierta una situación de gran incertidumbre y difícil pronóstico.

Referencias

Associated Press (2009). Cosmetics companies to face new rules in Europe. International Herald Tribune. <http://www.iht.com/articles/ap/2009/03/24/business/EU-EU-Parliament-Cosmetics.php> Consultado marzo 25, 2009.



ATSM International (American Society for Testing and Materials). (2006). ASTM E2456 - 06 Standard terminology Relating to Nanotechnology. <http://www.astm.org/Standards/E2456.htm> Consultado julio 09, 2008.

Basf (2008). Code of Conduct Nanotechnology. <http://www.basf.com/group/corporate/en/sustainability/dialogue/in-dialogue-with-politics/nanotechnology/code-of-conduct> Consultado marzo 12, 2009

Bayer (2007). Bayer Position on Nanotechnology. <http://www.sustainability2007.bayer.com/en/Bayer-Position-on-Nanotechnology.pdf> Consultado agosto 20, 2008.

California Department of Toxic Substances Control (DTSC). (2009). Chemical Information Call-in: Carbon Nanotubes. http://www.dtsc.ca.gov/TechnologyDevelopment/Nanotechnology/index.cfm#Chemical_Information_Call-in:_Carbon_Nanotubes Consultado marzo 03, 2009.

Choi, JY ; Ramachandran, G ; Kandlikar, M. (2009). The impact of toxicity testing costs on nanomaterial regulations. *Environmental Science and Technology* 20 feb.

Chou, Cheng-Chung , Hsiang-Yun Hsiao, Qi-Sheng Hong, Chun-Houh Chen, Ya-Wen Peng, Huei-Wen Chen, and Pan-Chyr Yang (2008). Single-Walled Carbon Nanotubes Can Induce Pulmonary Injury in Mouse Model. *Nano Lett.*, 8(2), 437-445.

Commission of the European Communities (2008). On a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research. Commission Recommendation of 07/02/2008. C. (2008) 424 final. Brussels.

Continental Western Insurance Group (2008). Nanotubes and Nanotechnology Exclusion. [Policy CW 33 69 06 08].

Deng, Xiaoyong, Luan, Oixia; Chen, Wenting; Wang, Yanli; Wu, Minghong; Zhang, Haijiao; y Zheng Jiao (2009). Nanosized zinc oxide particles induce neural stem cell apoptosis. *Nanotechnology*, 20, 115101, doi: 10.1088/0957-4484/20/11/115101

DuPont (s/f). DuPont Photovoltaic Solutions Launches New PV5200 Series Photovoltaic Encapsulants Based on Polyvinyl Butyral (PVB) Sheet Technology http://www2.dupont.com/Photovoltaics/en_US/news_events/article20090417.html



- ETC Group (2003). Size Matters! The Case for a Global Moratorium. *Occasional Paper Series*, 7(1), abril.
- ETC Group (2005). The potential impacts of nano-scale technologies on commodity markets: The implications for commodity dependent Developing countries. *South Centre Trade Research Papers*, 4. <http://www.southcentre.org/publications/researchpapers/ResearchPapers4.pdf> Consultado junio 09, 2006.
- ETUC (2008). ETUC resolution on nanotechnology and nanomateriales. http://www.etuc.org/IMG/pdf_ETUC_resolution_on_nano_-_EN_-_25_Junio_08.pdf Consultado Junio 26, 2008.
- EurActive (2009). 'No data, no market' for nanotechnologies, MEPs say. News. Abril 02, 2009. <http://www.euractiv.com/en/science/data-market-nanotechnologies-meps/article-180893> Consultado abril 02, 2009.
- European Parliament (2009). Novel foods, MEPs set new rules. http://www.europarl.europa.eu/news/expert/infopress_page/067-52498-082-03-13-911-20090324IPR52497-23-03-2009-2009-false/default_en.htm Consultado marzo 25, 2009.
- Federici, Gillian; Shaw, Benjamin J.; & Handy, Richard D. (2007). Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Gill injury, oxidative stress, and other physiological effects. *Aquatic Toxicology*, 84, 4, 415-430.
- FoE – A. (Friends of Earth – Australia). (2006). *Nanomaterials, sunscreens and cosmetics: small ingredients big risks*. FoE. <http://nano.foe.org.au/node/125> Consultado marzo 20, 2008.
- FramingNano Project: A multistakeholder dialogue platform framing the responsible development of Nanosciences & Nanotechnologies (2009, January). Mapping Study on Regulation and Governance of Nanotechnologies. Authors: *Elvio Mantovani, Andrea Porcari*, AIRI/Nanotec IT; *Christoph Meili, Markus Widmer*, The Innovation Society. www.framingnano.eu
- Ghafari, P; Christine H. St-Denis, Mary E. Power, Xu Jin, Veronica Tsou, Himadri S. Mandal, Niels C. Bols and Xiaowu (Shirley) Tang (2008). [Impact of carbon nanotubes on the ingestion and digestion of bacteria by ciliated protozoa](#). *Nature Nanotechnology* advance online publication 11 May 2008, DOI:10.1038/nnano.2008.109

- Harper, Tim (2009). *Nanotechnologies in 2009. Creative Destruction or Credit Crunch? White Paper*. Científica Ltd. <http://www.cientifica.eu/files/Whitepapers/Nanotechnologies%20in%202009.pdf> Last visited February 16, 2009.
- Howard, Vyvyan (2004). [Conference] *Nanotex 2004*, Daresbury Laboratories. Warrington, England. In: *SmallTimes* (2004 January 14). British scientist: Nanoparticles might move from mom to fetus http://www.smalltimes.com/Articles/Article_Display.cfm?ARTICLE_ID=269201&p=109. Last visited May 12, 2006.
- IEHN (The Investor Environmental Health Network) (2008). *Toxic Stock Syndrome: How Corporate Financial Reports Fail to Apprise Investors of the Risks of Product Recalls and Toxic Liabilities*. The Investor Environmental Health Network. [Lewis, Sanford; Liroff, Richard; Byrne, Margaret; Booth, Mary S.; Baue, Bill] <http://iehn.org/documents/IEHN%20Toxic%20Stock%20Report%203-08.pdf> Consultado mayo 3, 2008.
- ISO (International Organizations for Standardization) (2005). *TC 229 Nanotechnologies*. http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=381983 Consultado julio 09, 2008.
- Kimbrell, George (2007). Broad International Coalition Issues Principles for Strong Oversight of Nanotechnology. 31 julio, http://www.icta.org/press/release.cfm?news_id=26 Consultado marzo 20, 2008.
- Köhler, A., Som, C., Helland, A., Gottschalk, F. (2008). Studying the potential release of carbon nanotubes throughout the application life cycle. *Journal of Cleaner Production*. 16 (8-9):927-937.
- Leroueil, Pascale R.; Berry, Stephanie A.; Duthie, Kristen; Han, Gang; Rotello, Vincent M.; McNerny, Daniel Q.; Baker, James R. Jr.; Orr, Bradford G.; & Banaszak Holl, Mark M. (2008). Wide Varieties of Cationic Nanoparticles Induce Defects in Supported Lipid Bilayers. *Nano Lett.*, enero.
- Lloyd's (2009). *Nanotechnology: Balancing Risk and Opportunity*. http://www.lloyds.com/News_Centre/Features_from_Lloyds/News_and_features_2009/360/Nanotechnology_balancing_risk_and_opportunity.htm Consultado abril 02, 2009.
- Maynard, Andrew D.; Aitken, Robert J.; Butz, Tilman; Colvin, Vicki; Donaldson, Ken; Oberdörster, Günter; Philbert, Martin A.; Ryan, John; Seaton, Anthony; Stone, Vicki; Tinkle, Sally S.; Tran, Lang; Walker Nigel J. & Warheit, David B. (2006 noviembre). Safe handling of nanotechnology. *Nature*, 444, 16.

- Miller, Georgia & Senjen, Rye (2008). *Out of the laboratory and into the food chain: Nanotechnology in food and agriculture*. Friends of Earth-Australia. <http://nano.foe.org.au/node/220> Consultado marzo 21, 2008.
- Morgan, James(2008). Patent system 'stifling science'. *BBC News on line*. 24 September 2008. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/7632318.stm> Consultado Septiembre 29, 2008.
- Nygaard, Unni; Hansen, Jitka S; Samuelsen, Mari; Alberg, Torunn; Marioara, Calin D.; y Martinus Løvik (2009). Single-Walled and Multi-Walled Carbon Nanotubes Promote Allergic Immune Responses in Mice. *Toxicological Sciences*, 109(1):113-123.
- Oberdorster, G; Oberdorster, E; and, Oberdorster, J. (2005). Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ Health Perspect*, 113 (7): 823-839.
- Petratos, Phytágoras. (s/f). How the current economic crisis will affect nano. Nano <http://www.nanomagazine.co.uk/readComment.php?id=3> Last visited March 10, 2009.
- Poland, C.A.; Duffin, R.; Kinloch, I; Mayonard, A.; Wallace, W.A.H.; Seaton, A.; Stone, V.; Brown, S.; MacNee, W.; Donaldson, K. (2008). Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology* advance online publication 18 mayo 2008; (doi:10.1038/nnano.2008.111).
- Roberts, Aarón P; Andrew S. Mount, Brandon Seda, Justin Souther, Rui Qiao, Sijie Lin, Pu Chun Ke, Apparao M. Rao, and Stephen J. Klaine (2007). In vivo Biomodification of Lipid-Coated Carbon Nanotubes by *Daphnia magna*, *Environ. Sci. Technol*, 41 (8), 3025–3029.
- Royal Commission on Environmental Pollution (2008 noviembre). *Novel Materials in the Environment: The case of nanotechnology*. London: TSO (The Stationery Office). <http://www.rcep.org.uk/novel%20materials/Novel%20Materials%20report.pdf> Consultado marzo 01, 2009.
- RS&RAE (The Royal Society & The Royal Academy of Engineering). (2004). *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*. The Royal Society & The Royal Academy of Engineering. <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>
- RSC (2009 febrero 25). Nano-regulation creeps closer <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2009/Febrero/25020901.asp> Consultado marzo 01, 2009.

- Rusnano (Russian Corporation of Nanotechnology). (2008). Certification. <http://en.rusnano.com/Rubric.aspx?RubricId=412> Consultado octubre 28, 2008.
- Sharma, V., Shukla, R.K., Saxena, N. *et al.* (2009). DNA damaging potential of zinc oxide nanoparticles in human epidermal cells. *Toxicology Letters*, 185, 3: 211-218.
- ScienceDaily (2008 Oct. 23). Nanomaterials May Have Large Environmental Footprint. ScienceDaily. <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/10/081022135805.htm> Last visited December 09, 2008.
- Takagi, A.; Hirose, A.; Nishimura, T.; Fukumori, N.; Ogata, A.; Ohashi, N.; Kitajima, S.; Kanno, J. (2008) Induction of mesothelioma in p53+/- mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube. *The Journal of Toxicological Sciences*, 33, 105-116.
- Takeda, K; Suzuki, K; Ishihara, A; Kubo Irie, M; Fujimoto, R; Tabata, M; Oshio, S; Nihai, Y; Ihara, T; Sugamata, M. (2009). Nanoparticles transferred from pregnant mice to their offspring can damage the genital and cranial nerve systems. *Journal of Health Sciences*, 55(1), 95-102.
- The Swiss Retailer's Organisation & Innovation Society (2008). Code of Conduct. http://www.innovationsgesellschaft.ch/media/archive2/publikationen/Factsheet_CoC_engl.pdf Consultado abril 24, 2008.
- Tinkle SS, Antonini JM, Rich BA, Robert JR, Salmen R, DePree K, Adkins EJ (2003). Skin as a route of exposure and sensitization in chronic beryllium disease. *Environ Health Perspect* 111(9):1202–1208.
- UITA (2007). The IUF Resolution. http://www.rel-uita.org/nanotecnologia/resolucion_uita_nano_eng.htm Consultado marzo 20, 2007.
- Wherrett, Carl & Yelovich, John. (2005a). A Giant Leap for Nano. *The Motley Fool*. Enero 18, 2005. <http://www.fool.com/News/mft/2005/mft05011811.htm> Consultado noviembre 15, 2005.
- Wherrett, Carl & Yelovich, John. (2005b). Billion-Dollar Markets. *The Motley Fool*. January 18. <http://netscape.fool.com/news/commentary/2005/commentary05012704.htm> Consultado noviembre 15, 2005.
- Wolfe, Josh (2005). Nanotech Vs. The Green Gang. *Newsletters Forbes.com* 04/06/05 http://www.forbes.com/2005/04/06/cz_jw_0406soapbox_inl_print.html Consultado mayo 07, 2007.



Wong-Ekkabut, Jirasak; Svetlana Baoukina, Wannapong Triampo, I-Ming Tang, D. Peter Tieleman and Luca Monticelli (2008). Computer simulation study of fullerene translocation through lipid membranes. *Nature Nanotechnology*. Advanced on line online publication 18 mayo 2008.

Yang, Wenjuan; Cenchao Shen; Qiaoli Ji; Hongjie An; Jinju Wang; Qingdai Liu; and Zhizhou Zhang (2009). Food storage material silver nanoparticles interfere with DNA replication fidelity and bind with DNA, *Nanotechnology*, 20. doi:10.1088/0957-4484/20/8/085102

Zhu L, Chang DW, Dai L, Hong Y. (2007). DNA damage induced by multiwalled carbon nanotubes in mouse embryonic stem cells. *Nano Lett.*, 7(12):3592-3597.